

625.1  
PAR  
p ei



**PENGARUH PENGGUNAAN SERBUK GENTENG  
SEBAGAI *FILLER* TERHADAP KINERJA  
CAMPURAN HRS WC**

**TESIS**

Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan  
Program Magister Teknik Sipil

Oleh

**Iman Darmawan**

**PROGRAM PASCASARJANA**

**UNIVERSITAS DIPONEGORO**

**SEMARANG**

**2003**

# **PENGARUH PENGGUNAAN SERBUK GENTENG SEBAGAI *FILLER* TERHADAP KINERJA CAMPURAN HRS WC**

Disusun Oleh

**Iman Darmawan**  
**NIM : L4A.001.034**

Dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal:

18 September 2003

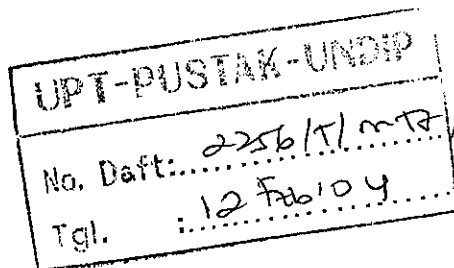
Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan untuk  
memperoleh gelar Magister Teknik Sipil

Tim Penguji

1. Ketua : Ir. Roeswan Soediro, MS
2. Sekertaris : Ir. Djoko Purwanto, MS
3. Anggota 1 : Ir. Muhrozi, MS
4. Anggota 2 : Drs. Bagus Priyatno, ST, MT
5. Anggota 3 : Dr. Ir. Sri Prabandiyani, M.Sc

*[Handwritten signatures of the examination committee members]*

Semarang, 18 September 2003  
Universitas Diponegoro  
Program Pascasarjana  
Magister Teknik Sipil  
Ketua,



*[Handwritten signature]*  
Dr. Ir. Suripin, M. Eng

## ABSTRAKSI

### PENGARUH PENGGUNAAN SERBUK GENTENG SEBAGAI *FILLER* TERHADAP KINERJA CAMPURAN HRS WC

*Hot Rolled Sheet* (HRS) adalah salah satu campuran yang cocok digunakan di daerah tropis seperti Indonesia karena mempunyai daya tahan dan kelenturan yang tinggi dan tahan terhadap kelelahan plastik. Karakteristik utama HRS adalah mempunyai gradasi senjang. Faktor terpenting pada HRS adalah campuran aspal, agregat halus dan *filler*, dimana ditempatkan beberapa agregat kasar didalamnya. Beberapa perusahaan yang bergerak di bidang proyek konstruksi jalan umumnya menghendaki bahan *filler* yang mudah didapatkan atau menggunakan bahan lokal. Hal ini diinginkan sebagai bahan alternatif, baik digunakan secara tersendiri atau digabungkan dengan bahan lain yang memenuhi persyaratan sebagai *filler* dalam campuran.

Berawal dari masalah ini, maka perlu dilakukan penelitian tentang penggunaan serbuk limbah genteng dari tanah liat sebagai bahan *filler* terhadap kinerja campuran HRS WC. Desain campuran yang dipakai adalah desain untuk HRS WC dengan mengacu pada Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas Edisi Agustus 2001 (Terakhir) dari Departemen Perhubungan dan Prasarana Wilayah.

Tujuan dari penelitian yang dikemukakan adalah mempelajari pengaruh penggunaan serbuk genteng sebagai *filler* pada campuran HRS WC terhadap karakteristik *Marshall*, yaitu *Void in the Mineral Aggregate* (VMA), *Void In the Mix* (VIM), *Void Filled with Asphalt* (VFA), Stabilitas, *Flow*, *Marshall Quotient* (MQ), *Density* dan *Index of Retained Strength* (IRS). Variasi *filler* yang direncanakan adalah penggabungan antara *filler* abu batu dan *filler* serbuk genteng berdasarkan proporsi dengan ukuran berat masing-masing, yaitu: 100% abu batu, 75% abu batu + 25 % serbuk genteng, 50% abu batu + 50% serbuk genteng, 25% abu batu + 75% serbuk genteng dan 100% serbuk genteng.

Hasil penelitian menunjukkan semua campuran HRS WC dengan berbagai komposisi *filler* memenuhi syarat VMA, VIM, VFA, Stabilitas, *Flow*, *Marshall Quotient* dan *Index of Retained Strength* (IRS) yang ditentukan oleh Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas, Edisi Agustus 2001 (Terakhir) dari Departemen Perhubungan dan Prasarana Wilayah.

Penggunaan *filler* serbuk genteng baik sebagian maupun keseluruhan pada HRS WC meningkatkan kadar aspal optimum jika dibandingkan dengan campuran HRS WC yang menggunakan *filler* abu batu saja. Hal ini menandakan penyerapan *filler* serbuk genteng lebih besar dari pada *filler* abu batu. Nilai stabilitas terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% serbuk genteng (988,79 kg) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (1204,35 kg). Sedangkan nilai *flow* terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (3,025 mm) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 50% abu batu + 50% serbuk genteng (4,4 mm). Nilai *flow* campuran pada kadar aspal 7% juga mempunyai kecenderungan semakin besar seiring berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap. Hal ini membuktikan bahwa kenaikan nilai *flow* disebabkan oleh berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap, juga disebabkan oleh bertambahnya kadar aspal. Nilai *density* cenderung semakin rendah dengan berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap. Nilai *density* terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% serbuk genteng (2,304 gr/cc) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (2,350 gr/cc). Nilai *density* campuran berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal 7% juga cenderung semakin rendah dengan berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap. Hal ini menunjukkan bahwa selain berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap, bertambahnya kadar aspal juga menurunkan nilai *density*. Campuran HRS WC dengan berbagai komposisi *filler* mampu menahan kerusakan yang diakibatkan oleh pengaruh kerentanan terhadap air ( $IRS \geq 85\%$ ).

Dari analisa tersebut campuran HRS WC yang menggunakan *filler* serbuk genteng sebaiknya digunakan untuk jalan dengan volume lalu lintas sedang ( $> 0,5$  juta ESA dan  $< 1$  juta ESA).

## ABSTRACT

### THE INFLUENCE OF ROOF TILE DUST AS FILLER MATTER CONCERNING TO HRS WC PERFORMANCE

Hot Rolled Sheet (HRS) is one of suitable mixture used in tropical region as Indonesia because its high of flexibility and hold of plastic melting. The main characteristic of HRS is its gap gradation. The most important of HRS are asphalt mixture, fine aggregate and filler, where few coarse aggregates inside. Some pavement construction industries prefer to use local material or materials that could be found easily is needed as alternative material, either used separately or combined with other material.

Refer to this problem, it is necessary to examine the use of roof tile dust as filler material concerning to performance of HRS WC. Mix design used is HRS WC design with New Specification of Hotmix Asphalt Concrete, published by Department of Settlement and Regional Infrastructure (August 2001).

The objective of this research is to study the influence of roof tile dust as filler in HRS WC mixture concerning to Marshall characteristic, i.e. Void in the Mineral Aggregate (VMA), Void In the Mix (VIM), Void Filled with Asphalt (VFA), Stability, Flow, Marshall Quotient, Density and Index of Retained Strength (IRS). Filler variation which is planned combination of rock dust filler and roof tile dust filler be based on proportion with each weight, i.e. 100% rock dust, 75% rock dust + 25 % roof tile dust, 50 % rock dust + 50% roof tile dust, 25% rock dust + 75% roof tile dust and 100% roof tile dust.

The result show that all of HRS WC mixture with filler composition are fulfill the terms of VIM, VMA, VFA, Stability, Flow, MQ, Density, and IRS which established with New Specification of Hotmix Asphalt Concrete, published by Department of Settlement and Regional Infrastructure (August 2001).

The use of a part or a whole of roof tile dust filler in HRS WC mixture can increase the optimum asphalt content, if be compared with rock dust filler. That result shows that absorption of roof tile dust is more than rock dust filler. The lowest stability value in mixture which use filler 100% of roof tile dust (988,79 kg) and the highest in mixture which use filler 100% (1204,35 kg). While the lowest flow value in mixture which use filler 100% of rock dust (3,025mm) and the highest in mixture which use filler 50% rock dust and 50% roof tile dust (4,4 mm). Mixture flow value in 7% asphalt content tends to increase too simultaneously with decreasing of rock dust filler and increasing roof tile dust filler gradually. That's all goes to prove that increasing of flow value was caused by decreasing rock dust filler and increasing roof tile dust gradually was caused by increasing asphalt content, too. Density value tends to decrease due to rock dust filler and increasing roof tile dust filler. The lowest density value of filler 100% of roof tile dusts (2,304 gr/cc) and the highest density value in mixture which use filler 100% rock dusts (2,350 gr/cc). Mixture density value with filler composition in 7% asphalt content tends to decrease with decreasing rock dust filler and increasing roof tile dust filler gradually too. These result show that besides decreasing of rock dust filler and increasing roof tile dust filler gradually, increasing of asphalt content, decreasing of density value, too. HRS WC mixture with various filler composition can hold damage causing by influencing of sensitivity to water ( $IRS \geq 85\%$ ).

It is recommended the HRS WC mixture which use roof tile dust filler should be used on highway with medium traffic volume. ( $> 0,5$  million of ESA and  $< 1$  million of ESA).

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala berkah dan rahmat yang telah dilimpahkan-Nya, sehingga tesis dengan judul **Pengaruh Penggunaan Serbuk Genteng Sebagai *Filler* Terhadap Kinerja Campuran HRS WC** dapat diselesaikan dengan baik.

Tesis ini disusun sebagai syarat menyelesaikan studi pada Program Magister Teknik Sipil Konsentrasi Transportasi Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro. Selama menyelesaikan tesis ini, penulis banyak menerima kritik, saran, petunjuk, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Sehubungan dengan hal tersebut penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Suripin, M. Eng, selaku Ketua Program Pascasarjana Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro.
  2. Bapak Dr. Ir. Bambang Riyanto, DEA, selaku Sekretaris Program Pascasarjana Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro.
  3. Bapak Ir. Roeswan Soediro, MS, selaku Dosen Pembimbing I tesis, yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan tesis.
  4. Bapak Ir. Djoko Purwanto, MS, selaku Dosen Pembimbing II tesis, yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan tesis.
  5. Bapak Ir. Muhrozi, MS, bapak Drs. Bagus Priyatno, ST, MT dan ibu Dr. Ir. Sri Prabandiyani, M.Sc selaku Tim Pembahas/Penguji.
  6. Pimpinan dan staf Laboratorium Transportasi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.
  7. Para dosen dan staf Program Pascasarjana Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro.
  8. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tesis ini.
- Mudah-mudahan tesis ini dapat memberikan manfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Semarang, September 2003

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	i
<b>ABSTRAKSI</b> .....	ii
<b>ABSTRACTION</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	iv
<b>DAFTAR ISI</b> .....	v
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xii
<b>DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN</b> .....	xv
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian .....	2
1.3 Manfaat Penelitian .....	2
1.4 Batasan Masalah .....	2
1.5 Sistematika Penulisan.....	3
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Umum .....	5
2.2 Campuran Beraspal Panas HRS WC .....	6
2.3 Agregat .....	9
2.3.1 Agregat kasar .....	9
2.3.2 Agregat halus .....	9
2.3.3 <i>Filler</i> .....	10
2.4 Aspal .....	10
2.5 Prosedur Rancangan Campuran Metode <i>Marshall</i> .....	11
2.6 Pengujian Perendaman <i>Marshall</i> .....	12
2.7 Hasil Penelitian yang Relevan .....	13
2.8 Hipotesa .....	15

<b>III. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>16</b>
3.1 Umum .....	16
3.2 Tahapan Penelitian.....	17
3.2.1 Uraian Tahapan Penelitian.....	18
3.3 Bahan dan Asal Bahan.....	19
3.4 Peralatan Penelitian .....	19
3.4.1 Alat pengujian agregat dan <i>filler</i> .....	19
3.4.2 Alat pengujian aspal .....	20
3.4.3 Alat pengujian campuran metode <i>Marshall</i> .....	20
3.5 Pengujian dan Persyaratan Bahan .....	20
3.5.1 Agregat dan <i>filler</i> .....	20
3.5.2 Aspal .....	21
3.6 Perencanaan Campuran HRS WC .....	22
3.7 Perencanaan Jumlah Benda Uji .....	23
3.8 Pengujian <i>Marshall</i> .....	24
3.9 Analisa Hitungan .....	25
<b>IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>28</b>
4.1 Hasil Penelitian.....	28
4.1.1 Hasil Pengujian Agregat.....	28
4.1.2 Hasil Pengujian Aspal.....	29
4.1.3 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> .....	29
4.1.4 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> pada Kadar Aspal Optimum.....	41
4.2 Pembahasan.....	42
4.2.1 Pengaruh Penggunaan Serbuk Genteng Terhadap Kadar Aspal Optimum.....	42
4.2.2 Pengaruh Penggunaan Serbuk Genteng Terhadap VMA.....	43
4.2.3 Pengaruh Penggunaan Serbuk Genteng Terhadap VIM.....	44
4.2.4 Pengaruh Penggunaan Serbuk Genteng Terhadap VFA.....	46
4.2.5 Pengaruh Penggunaan Serbuk Genteng Terhadap Stabilitas.....	47
4.2.6 Pengaruh Penggunaan Serbuk Genteng Terhadap <i>Flow</i> .....	48

4.2.7 Pengaruh Penggunaan Serbuk Genteng Terhadap	
<i>Marshall Quotient</i> .....	50
4.2.8 Pengaruh Penggunaan Serbuk Genteng Terhadap	
<i>Density</i> .....	51
4.2.9 Pengaruh Penggunaan Serbuk Genteng Terhadap IRS.....	52
4.3 Pembahasan Umum.....	53
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	56
5.1 Kesimpulan.....	56
5.2 Saran.....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	60
<b>LAMPIRAN</b> .....	62



## DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
2.1	Ketentuan Karakterisrik Campuran .....	7
2.2	Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal .....	8
2.3	Contoh Batas-batas “Bahan bergradasi senjang” .....	8
3.1	Pengujian dan persyaratan untuk agregat dan <i>filler</i> .....	21
3.2	Pengujian dan persyaratan untuk aspal pen 60/70 .....	21
3.3	Target Gardasi Rencana dan Perhitungan Berat Campuran HRS WC ..	22
3.4	Jumlah Benda Uji Tahap I.....	23
3.5	Jumlah Benda Uji Tahap II.....	23
4.1	Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat.....	28
4.2	Rekapitulasi Hasil Pengujian Aspal pen 60/70.....	29
4.3	Rekapitulasi Pengujian <i>Marshall</i> Campuran HRS WC dengan <i>Filler</i> 100% Abu Batu.....	30
4.4	Rekapitulasi Pengujian <i>Marshall</i> Campuran HRS WC dengan <i>Filler</i> 75% Abu Batu + 25% Serbuk Genteng.....	30
4.5	Rekapitulasi Pengujian <i>Marshall</i> Campuran HRS WC dengan <i>Filler</i> 50% Abu Batu + 50% Serbuk Genteng.....	30
4.6	Rekapitulasi Pengujian <i>Marshall</i> Campuran HRS WC dengan <i>Filler</i> 25% Abu Batu + 75% Serbuk Genteng.....	31
4.7	Rekapitulasi Pengujian <i>Marshall</i> Campuran HRS WC dengan <i>Filler</i> 100% Serbuk Genteng.....	31
4.8	Kadar Aspal Optimum Campuran HRS WC dengan <i>Filler</i> 100% Abu batu.....	39
4.9	Kadar Aspal Optimum Campuran HRS WC dengan <i>Filler</i> 100% Serbuk Genteng .....	39
4.10	Kadar Aspal Optimum Campuran HRS WC dengan <i>Filler</i> 50% Abu Batu + 50% Serbuk Genteng .....	40

No	Judul	Halaman
4.11	Kadar Aspal Optimum Campuran HRS WC dengan <i>Filler</i> 25% Abu Batu + 75% Serbuk Genteng .....	40
4.12	Kadar Aspal Optimum Campuran HRS WC dengan <i>Filler</i> 75% Abu Batu + 25% Serbuk Genteng .....	40
4.13	Kadar Aspal Optimum pada Campuran HRS WC dengan berbagai Komposisi <i>Filler</i> .....	41
4.14	Rekapitulasi Pengujian <i>Marshall</i> pada Kadar Aspal Optimum 7%.....	41
4.15	Rekapitulasi Pengujian <i>Marshall</i> pada Kadar Aspal Optimum Campuran HRS WC dengan berbagai Komposisi <i>Filler</i> .....	42

## DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
3.1	Diagram Alir Penelitian Secara Keseluruhan .....	17
3.2	Target Gradasi .....	22
4.1	Grafik Hubungan antara VMA dan Kadar Aspal Campuran HRS WC dengan Berbagai Komposisi <i>Filler</i> .....	32
4.2	Grafik Hubungan antara VIM dan Kadar Aspal Campuran HRS WC dengan Berbagai Komposisi <i>Filler</i> .....	33
4.3	Grafik Hubungan antara VFA dan Kadar Aspal Campuran HRS WC dengan Berbagai Komposisi <i>Filler</i> .....	34
4.4	Grafik Hubungan antara Stabilitas dan Kadar Aspal Campuran HRS WC dengan Berbagai Komposisi <i>Filler</i> .....	35
4.5	Grafik Hubungan antara <i>Flow</i> dan Kadar Aspal Campuran HRS WC dengan Berbagai Komposisi <i>Filler</i> .....	36
4.6	Grafik Hubungan antara <i>Marshall Quotient</i> dan Kadar Aspal Campuran HRS WC dengan Berbagai Komposisi <i>Filler</i> .....	37
4.7	Grafik Hubungan antara <i>Density</i> dan Kadar Aspal Campuran HRS WC dengan Berbagai Komposisi <i>Filler</i> .....	38
4.8	Grafik Kadar Aspal Optimum Campuran HRS WC Berbagai Komposisi <i>Filler</i> .....	43
4.9	Grafik Nilai VMA Campuran HRS WC Berbagai Komposisi <i>Filler</i> pada Kadar Aspal Optimum.....	43
4.10	Grafik Nilai VIM Campuran HRS WC Berbagai Komposisi <i>Filler</i> pada Kadar Aspal Optimum.....	45
4.11	Grafik Nilai VFA Campuran HRS WC Berbagai Komposisi <i>Filler</i> pada Kadar Aspal Optimum.....	46
4.12	Grafik Nilai Stabilitas Campuran HRS WC Berbagai Komposisi <i>Filler</i> pada Kadar Aspal Optimum.....	47
4.13	Grafik Nilai <i>Flow</i> Campuran HRS WC Berbagai Komposisi <i>Filler</i> pada Kadar Aspal Optimum.....	48
4.14	Grafik Nilai <i>Flow</i> Campuran HRS WC Berbagai Komposisi <i>Filler</i> pada Kadar Aspal Optimum yang Direndam dengan Temperatur 60°C selama 24 Jam.....	49

No	Judul	Halaman
4.15	Grafik Nilai <i>Marshall Quotient</i> Campuran HRS WC Berbagai Komposisi <i>Filler</i> pada Kadar Aspal Optimum.....	50
4.16	Grafik Nilai IRS Campuran HRS WC Berbagai Komposisi <i>Filler</i> pada Kadar Aspal Optimum.....	52

## DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul	Halaman
A1	Tabel Kalibrasi.....	63
A2	Koreksi Volume Benda Uji.....	64
B1	Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar.....	67
B2	Pemeriksaan Abrasi Agregat dengan Mesin <i>Los Angeles</i> .....	68
B3	Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal.....	69
B4	Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus.....	70
B5	Pemeriksaan <i>Sand Equivalent</i> .....	71
B6	Pemeriksaan Berat Jenis Berbagai Komposisi <i>Filler</i> .....	72
B7	Gabungan Berat Jenis Agregat dan <i>Filler</i> untuk Perhitungan <i>Marshall</i>	73
C1	Pemeriksaan Penetrasi Aspal.....	75
C2	Pemeriksaan Titik Lembek Aspal.....	76
C3	Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal.....	77
C4	Pemeriksaan Kehilangan Berat Aspal.....	78
C5	Pemeriksaan Kelarutan dalam $\text{CCl}_4$ .....	79
C6	Pemeriksaan Daktilitas.....	80
C7	Pemeriksaan Penetrasi Aspal Setelah Kehilangan Berat.....	81
C8	Pemeriksaan Daktilitas Aspal Setelah Kehilangan Berat.....	82
C9	Pemeriksaan Berat Jenis Aspal.....	83
D1	Perhitungan Berat Berbagai Komposisi <i>Filler</i> Untuk Campuran Berdasarkan Volume.....	85
D2	Resep Campuran Berbagai Komposisi <i>Filler</i> Dengan Kadar Aspal 6% Dari Berat Total Campuran.....	86
D3	Resep Campuran Berbagai Komposisi <i>Filler</i> Dengan Kadar Aspal 6,5% Dari Berat Total Campuran.....	87
D4	Resep Campuran Berbagai Komposisi <i>Filler</i> Dengan Kadar Aspal 7% Dari Berat Total Campuran.....	88

No	Judul	Halaman
D5	Resep Campuran Berbagai Komposisi <i>Filler</i> Dengan Kadar Aspal 7,5% Dari Berat Total Campuran.....	89
D6	Resep Campuran Berbagai Komposisi <i>Filler</i> Dengan Kadar Aspal 8% Dari Berat Total Campuran.....	90
E1	Data <i>Marshall</i> untuk Kandungan Campuran <i>Filler</i> 100% Abu Batu Lama Perendaman Benda Uji 30 Menit.....	92
E2	Data <i>Marshall</i> untuk Kandungan Campuran <i>Filler</i> 75% Abu Batu + 25% Serbuk Genteng Lama Perendaman Benda Uji 30 Menit.....	93
E3	Data <i>Marshall</i> untuk Kandungan Campuran <i>Filler</i> 50% Abu Batu + 50% Serbuk Genteng Lama Perendaman Benda Uji 30 Menit.....	94
E4	Data <i>Marshall</i> untuk Kandungan Campuran <i>Filler</i> 25% Abu Batu + 75% Serbuk Genteng Lama Perendaman Benda Uji 30 Menit.....	95
E5	Data <i>Marshall</i> untuk Kandungan Campuran <i>Filler</i> 100% Serbuk Genteng Lama Perendaman Benda Uji 30 Menit.....	96
E6	Data <i>Marshall</i> untuk Kandungan Campuran <i>Filler</i> 100% Abu Batu Lama Perendaman Benda Uji 24 Jam.....	97
E7	Data <i>Marshall</i> untuk Kandungan Campuran <i>Filler</i> 75% Abu Batu + 25% Serbuk Genteng Lama Perendaman Benda Uji 24 Jam .....	98
E8	Data <i>Marshall</i> untuk Kandungan Campuran <i>Filler</i> 50% Abu Batu + 50% Serbuk Genteng Lama Perendaman Benda Uji 24 Jam .....	99
E9	Data <i>Marshall</i> untuk Kandungan Campuran <i>Filler</i> 25% Abu Batu + 75% Serbuk Genteng Lama Perendaman Benda Uji 24 Jam .....	100
E10	Data <i>Marshall</i> untuk Kandungan Campuran <i>Filler</i> 100% Serbuk Genteng Lama Perendaman Benda Uji 24 Jam .....	101
E11	<i>Index of Retained Strength</i> Campuran Berbagai Komposisi <i>Filler</i> .....	102

No	Judul	Halaman
F1	Resep Campuran Berbagai Komposisi <i>Filler</i> dengan Kadar Aspal Optimum dari Berat Total Campuran.....	104
G1	Data <i>Marshall</i> untuk Kandungan Campuran dengan Aspal Optimum Lama Perendaman Benda Uji 30 Menit.....	106
G2	Data <i>Marshall</i> untuk Kandungan Campuran dengan Aspal Optimum Lama Perendaman Benda Uji 24 Jam.....	107
G2	<i>Index of Retained Strength</i> Campuran Berbagai Komposisi <i>Filler</i> pada Kadar Aspal Optimum.....	108
H1	Contoh Perhitungan.....	110

## DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

### Lambang

Cm	= Centimeter
mm	= milimeter
$G_b$	= Berat Jenis dari aspal
$G_{mb}$	= Berat Jenis <i>Bulk</i> dari campuran
$G_{mm}$	= Berat Jenis Maksimum Teoritis dari campuran padat tanpa rongga udara
$G_{sa}$	= Berat Jenis <i>Apparent</i> dari total agregat
$G_{sa1}, G_{sa2}, G_{sa3}, \dots, G_{san}$	= Berat Jenis <i>Apparent</i> dari agregat 1, 2, 3, ..., n
$G_{sb}$	= Berat Jenis <i>Bulk</i> total agregat dalam gr/cc
$G_{sb1}, G_{sb2}, G_{sb3}, \dots, G_{sbn}$	= Berat Jenis <i>Bulk</i> dari agregat 1, 2, 3, ..., n
$G_{sc}$	= Berat Jenis Efektif dari total agregat
Gr/cm <sup>3</sup>	= Gram percentimeter cubic
Kg	= Kilogram
Kg/mm	= Kilogram permilimeter
$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$	= Persen berat dari agregat 1, 2, 3, ..., n
$P_b$	= Kadar aspal dari total berat campuran
$P_{mm}$	= Persentase total agregat
$P_s$	= Persentase agregat, persen dari total berat campuran
%	= Persen
°C	= Derajat Celcius

### Singkatan

AASHTO	= <i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
AB	= Abu Batu
ASTM	= <i>American Society for Testing Materials</i>



AC	= <i>Asphaltic Concrete</i>
HRS	= <i>Hot Rolled Sheet</i>
HRS WC	= <i>Hot Rolled Sheet Wearing Course</i>
IRS	= <i>Indeks of Retained Strength</i>
KAO	= Kadar Aspal Optimum
Maks	= Maksimum
Min	= Minimum
M F	= <i>Marshall Flow</i>
MS	= <i>Stabilitas Marshall</i>
MSI	= <i>Stabilitas Marshall</i> kondisi setelah direndam selama 24 jam dengan suhu 60°C
MSS	= <i>Stabilitas Marshall</i> kondisi Standar
MQ	= <i>Marshall Quotient</i>
Pen	= Penetrasi
SG	= Serbuk Genteng
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SSD	= <i>Saturated Surface Dry</i>
VFA	= <i>Voids Filled with Asphalt</i>
VIM	= <i>Void In the Mix</i>
VMA	= <i>Void in the Mineral Aggregate</i>

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan pembangunan di Indonesia sudah sedemikian pesatnya. Hal ini berdampak semakin pesatnya kebutuhan akan prasarana transportasi. Jalan sebagai salah satu prasarana penunjang kebutuhan transportasi membutuhkan penanganan yang serius. Jalan dituntut untuk selalu dalam kondisi baik agar tercipta lalu-lintas yang aman dan nyaman untuk dilalui oleh kendaraan.

Di Indonesia yang beriklim tropis, pembangunan jalan banyak sekali menggunakan aspal minyak sebagai bahan pengikat. Namun masih sering dijumpai kelemahan-kelemahan berupa kerusakan dini pada permukaan jalan setelah beberapa waktu dilalui lalu lintas. Untuk mendapatkan jalan yang mempunyai kondisi yang baik serta sesuai dengan umur kinerja, maka kualitas bahan penyusun struktur jalan perlu diperhatikan.

*Hot Rolled Sheet (HRS)* adalah salah satu campuran yang cocok digunakan di daerah tropis seperti Indonesia karena mempunyai kelenturan yang tinggi dan tahan terhadap kelelahan plastik (Rantetoding, 1984). Karakteristik utama HRS adalah mempunyai gradasi senjang. Yang terpenting pada HRS adalah campuran aspal, agregat halus dan *filler*, dimana didalamnya ditempatkan beberapa agregat kasar.

Beberapa perusahaan yang bergerak dibidang proyek konstruksi jalan umumnya menghendaki bahan *filler* yang mudah didapatkan atau menggunakan bahan lokal. Hal ini diinginkan sebagai bahan alternatif, baik digunakan secara tersendiri atau digabungkan dengan bahan lain. Di kota Kebumen khususnya daerah Soka terdapat banyak pabrik pembuatan genteng dari tanah liat. Genteng yang cacat produksi atau pecah tidak dapat diolah kembali atau didaur ulang menjadi genteng baru. Pecahan-pecahan genteng tersebut semakin banyak dan menumpuk diperusahaan-perusahaan genteng menjadi limbah yang tidak terpakai.

Berawal dari masalah ini, dilakukan penelitian tentang penggunaan serbuk genteng dari tanah liat sebagai bahan *filler* terhadap karakteristik campuran beraspal panas. Desain campuran yang dipakai adalah campuran Lataston Lapis Aus atau yang dikenal dengan simbol HRS WC dengan mengacu pada Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas Edisi Agustus 2001 (Terakhir) dari Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

## 1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud penelitian disimpulkan sebagai berikut:

1. Mempelajari perilaku campuran yang menggunakan *filler* serbuk genteng dan membandingkannya dengan campuran yang menggunakan *filler* abu batu.
2. Membandingkan karakteristik *Marshall* pada campuran yang menggunakan serbuk genteng sebagai *filler* dengan syarat Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas untuk campuran HRS WC.

Tujuan dari penelitian yang dikemukakan adalah mempelajari pengaruh penggunaan serbuk genteng sebagai *filler* pada campuran HRS WC terhadap karakteristik *Marshall*, yaitu *Void in the Mineral Aggregate* (VMA), *Void In the Mix* (VIM), *Void Filled with Asphalt* (VFA), Stabilitas, *Flow*, *Marshall Quotient* (MQ), *Density* dan *Index of Retained Strength* (IRS).

## 1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman mengenai pengaruh penggunaan serbuk genteng sebagai *filler* pada campuran HRS WC terhadap karakteristik *Marshall*, yaitu *Void in the Mineral Aggregate* (VMA), *Void In the Mix* (VIM), *Void Filled with Asphalt* (VFA), Stabilitas, *Flow*, *Marshall Quotient* (MQ), *Density* dan *Index of Retained Strength* (IRS).

Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi pemikiran atau menambah wawasan bagi perencana tentang manfaat serbuk genteng sebagai *filler* pada campuran HRS WC.

## 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah atau ruang lingkup pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Perencanaan campuran menggunakan campuran untuk lapis permukaan HRS WC mengacu pada Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas Edisi Agustus 2001 (Terakhir) dari Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
- b. Aspal yang digunakan adalah aspal minyak penetrasi 60/70 produksi Pertamina.
- c. Agregat dan *filler* abu batu yang digunakan berasal dari kali Kuto, Batang.
- d. *Filler* serbuk genteng dari limbah genteng tanah liat berasal dari daerah Soka, Kebumen.

- e. Variasi kadar aspal untuk mencari kadar aspal optimum pada campuran HRS WC adalah 6%, 6,5%, 7%, 7,5%, dan 8% dari berat campuran.
- f. Persentase lolos *filler* (saringan no.200) sebesar 7%.
- g. Variasi *filler* yang direncanakan adalah penggabungan antara *filler* abu batu dan *filler* serbuk genteng berdasarkan proporsi dengan ukuran berat masing-masing, yaitu:
  - 100% abu batu
  - 75% abu batu + 25 % serbuk genteng
  - 50% abu batu + 50% serbuk genteng
  - 25% abu batu + 75% serbuk genteng
  - 100% serbuk genteng
- h. Spesifikasi yang digunakan untuk jalan dengan volume lalu lintas berat ( $> 1$  juta ESA). Karakteristik yang digunakan, yaitu: VMA ( $\geq 18\%$ ), VIM ( $3-6\%$ ), VFA ( $\geq 65\%$ ), stabilitas ( $\geq 800$  kg), *flow* ( $\geq 2$  mm), *Marshall Quotient* ( $\geq 200$  kg/mm), *density* dan IRS ( $\geq 85\%$ ).
- i. Uji yang dilakukan adalah Uji *Marshall*.
- j. Tidak dilakukan pengujian untuk mendapatkan nilai rongga dalam campuran pada kepadatan membal (*refusal*).
- k. Sifat-sifat kimia dari bahan material penyusun campuran dan reaksi kimia yang terjadi pada campuran tidak ditinjau dan diuji.

### 1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tesis ini berdasar buku Pedoman Penyusunan dan Penulisan Tesis Magister Teknik Sipil. Penulisan tesis ini terdiri dari lima bab, yaitu

- a. Bab I. Pendahuluan  
Bab ini berisi latar belakang penulisan tesis, maksud penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.
- b. Bab II. Tinjauan Pustaka  
Bab ini berisi teori-teori yang digunakan sebagai landasan atau acuan dari penelitian serta hipotesa.
- c. Bab III. Metodologi Penelitian  
Bab ini mengenai tahapan dan cara penelitian serta uraian mengenai pelaksanaan penelitian.

d. Bab IV. Hasil Perhitungan dan Pembahasan

Bab ini mengenai hasil-hasil penelitian dan juga berisis tentang analisa dari hasil penelitian beserta pembahasannya. Hasil ditampilkan dalam bentuk gambar, grafik dan tabel. Hasil yang ditulis dalam kesimpulan harus terlebih dahulu muncul dalam bagian pembahasan ini.

e. Bab V. Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan-kesimpulan setelah dilakukan analisa dan pembahasan. Kesimpulan merupakan rangkuman hasil-hasil pembahasan secara rinci. Bab ini juga berisi mengenai saran yang didasarkan pada hasil penelitian menurut pendapat serta pemikiran peneliti.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Umum

Perkerasan jalan dikelompokkan dalam dua kelompok besar yaitu perkerasan lentur dan perkerasan kaku. Perkerasan lentur adalah suatu perkerasan jalan yang terdiri dari beberapa lapisan yaitu lapis permukaan, lapis pondasi dan pondasi bawah. Lapisan permukaan dibangun diatas lapis pondasi dan pondasi bawah yang terletak pada tanah dasar yang telah dipadatkan. Perkerasan kaku adalah suatu perkerasan jalan yang terbuat dari semen portland berupa pelat beton dan diantara pelat beton dan tanah dasar boleh dipasang atau tidak dipasang lapis pondasi. (Yoder, Witezak, 1975)

Rancangan campuran perkerasan aspal meliputi pemilihan jenis aspal dan pemilihan material agregat yang sesuai dengan jenis konstruksi perkerasan dan penentuan proporsi yang optimum dari agregat dan aspal didalam campuran.

Rancangan campuran harus mempertimbangkan sifat-sifat sebagai berikut: Kekuatan, ketahan, kelenturan, ketahanan terhadap retak, ketahanan terhadap kelelahan, kekesatan, tidak tembus air dan mudah dikerjakan.

Tujuan keseluruhan dari rancangan campuran perkerasan aspal adalah mendapatkan biaya yang efektif dari campuran, gradasi agregat dan aspal sehingga campuran memiliki:

- a. Aspal yang cukup untuk menjamin keawetan perkerasan
- b. Stabilitas campuran yang cukup untuk memenuhi kebutuhan lalu lintas tanpa terjadi kerusakan atau penurunan.
- c. Rongga yang cukup didalam total campuran yang telah dipadatkan untuk menyediakan sedikit penambahan pemadatan oleh beban lalu lintas dan untuk menyediakan sedikit untuk ruang pemekaran aspal akibat kenaikan suhu tanpa terjadi pembilasan, *bleeding* dan kehilangan stabilitas.
- d. Membatasi kadar rongga untuk membatasi permeabilitas bahan terhadap masuknya udara dan kelembaban yang sangat berbahaya kedalam perkerasan.
- e. Kemudahan pengerjaan yang cukup untuk memberikan kemudahan dan efisiensi didalam penghamparan tanpa terjadi segregasi dan tanpa mengorbankan stabilitas dan performanya.

- f. Untuk campuran lapis permukaan, agregat harus memiliki tekstur permukaan dan kekerasan untuk menyediakan tahanan gesek yang cukup pada kondisi cuaca buruk.

## 2.2 Campuran Beraspal Panas HRS WC

Kelemahan umum yang dijumpai dalam konstruksi *Asphaltic Concrete* (AC) adalah sensitif terhadap perubahan kadar aspal, kaku dan rapuh, yang kemudian tercermin dalam bentuk retak-retak. Beberapa kasus kerusakan pada lapis beton aspal jalan baru menunjukkan antara lain kadar aspal yang kurang sehingga terjadi *striping* dan *ravelling*. Tingginya daya serap agregat merupakan salah satu penyebab kurangnya kadar aspal dicampurkan. Kerusakan juga menjadi parah akibat tidak diikutinya toleransi temperatur, baik pada waktu pencampuran maupun penghamparan.

Pada pertengahan tahun 1980-an beberapa proyek IBRD dan ADB menggunakan Spesifikasi HRS sebagai jawaban terhadap kerusakan dini campuran AC yang sensitif terhadap perubahan kadar aspal, yaitu HRS kelas A untuk lalu-lintas ringan dan sedang dan HRS kelas B untuk lalu-lintas berat. Campuran HRS direncanakan untuk mengakomodasi kadar aspal yang lebih besar dari campuran AC, sehingga fleksibilitas dan keawetannya lebih baik.

Sejak tahun 1990 para perencana di Bina Marga mengubah HRS kelas A menjadi HRS (tanpa kelas) sedangkan HRS kelas B menjadi AC dengan persyaratan perbandingan filler terhadap bitumen dan tebal film aspal dihilangkan. Hampir pada saat yang bersamaan konsultan TRL di Pusat Litbang Jalan mengusulkan spesifikasi baru HRS (*"trial" specification*) yang dinamakan HRS kelas C (agregat kasar 50%) untuk lalu lintas berat. (M. Sjahdanulirwan, 1996)

Pada tahun 2001 Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah mengeluarkan Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas. Spesifikasi ini mengikuti trend perkembangan metoda perencanaan campuran beraspal yang berorientasi pada kinerja. Penyempurnaan spesifikasi campuran beraspal, terutama diarahkan untuk mengantisipasi kerusakan berupa deformasi plastis. Walaupun demikian upaya tersebut dilakukan dengan tidak mengorbankan keawetan dan ketahanan campuran terhadap *fatig*. Salah satu jenis campuran yang dirangkum dalam spesifikasi baru tersebut adalah *Hot Rolled Sheet Wearing Course* (HRS WC). Ketentuan sifat-sifat campuran dan gradasi agregat untuk campuran aspal Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Ketentuan Karakteristik Campuran

Sifat-sifat Campuran			Sand Sheet	HRS		AC		
			Kelas A&B	WC	Base	WC	BC	Base
Penyerapan kadar aspal		Maks	2,0	1,2 utk Lalu Lintas > 1.000.000 ESA 1,7 utk Lalu Lintas < 1.000.000 ESA				
Jumlah tumbukan per bidang			50	75				112 <sup>(1)</sup>
Rongga dalam campuran (%) (4)	Lalu Lintas (LL.)	Min	Tidak	-		4.9		
	> 1 juta ESA	Maks	Digunakan	-		5.9		
	> 0,5 juta ESA dan	Min	untuk LL berat	4.0		3.9		
	< 1 juta ESA	Maks		6.0		4.9		
	Lalu Lintas (LL.)	Min	3.0		3.0			
	< 0,5 juta ESA	Maks	6.0		5.0			
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)		Min	20	18	17	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (%)	Lalu Lintas (LL.)	Min	Tidak	65		65	63	60
	> 1 juta ESA	Min	Digunakan untuk LL berat	68				
	> 0,5 juta ESA dan < 1 juta ESA							
Lalu Lintas (LL.)	Min	75					73	
	< 0,5 juta ESA							
Stabilitas Marshall (kg)		Min	200	800				800 <sup>(1)</sup>
		Maks	750	-				-
Flow (mm)		Min	2	2				2 <sup>(1)</sup>
		Maks	3	-				-
Marshall Quotient (kg/mm)		Min	80	200				200
Stabilitas Marshall Sisa setelah Perendaman selama 24 jam, 60°C		Min	85 untuk Lalu Lintas > 1.000.000 ESA 80 untuk Lalu Lintas < 1.000.000 ESA					
Rongga dlm Campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal) <sup>(2,3)</sup>	Lalu Lintas (LL.)	Min	Tidak	-		2.5		
	> 1 juta ESA	Maks	Digunakan untuk LL berat					
	> 0,5 juta ESA dan	Min		2				
	< 1 juta ESA	Maks						
Lalu Lintas (LL.)	Min	1						
	< 0,5 juta ESA	Maks						

## Catatan:

1. Modifikasi *Marshall*.
2. Untuk menentukan kepadatan membal (*refusal*), penumbuk bergetar (*vibratory hammer*) disarankan digunakan untuk menghindari pecahnya butiran agregat dalam campuran. Jika digunakan penumbuk manual jumlah tumbukan perbidang harus 600 untuk cetakan berdiameter 6 in dan 400 untuk cetakan berdiameter 4 in.
3. Untuk lalu lintas yang sangat lambat atau lajur padat, gunakan ESA yang lebih tinggi.
4. Berat jenis efektif agregat akan dihitung berdasarkan pengujian Berat Jenis Maksimum Agregat (Gmm test, AASHTO T-209).
5. Direksi Pekerjaan dapat menyetujui prosedur pengujian AASHTO T283 sebagai alternatif pengujian kepekaan kadar air. Pengondisian beku cair (*freeze thaw conditioning*) tidak diperlukan. Standar minimum untuk diterimanya prosedur T283 harus 80% Kuat Tarik Sisa.

Sumber: Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah (2001)



Tabel 2.2 Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos						
		Latasir (SS)		Lataston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B	WC	Base	WC	BC	Base
1 ½ "	37,5							100
1"	25						100	90 – 100
¾"	19	100	100	100	100	100	90 – 100	Maks 90
½"	12,5			90 – 100	90 – 100	90 – 100	Maks 90	
3/8"	9,5	90 – 100		77 – 85	65 – 100	Maks 90		
No.8	2,36		75 – 100	50 – 72 <sup>1</sup>	35 – 55 <sup>1</sup>	28 – 58	23 – 39	19 – 45
No.16	1,18							
No.30	0,600			35 – 60	15 – 35			
No.200	0,075	10 – 15	8 – 13	6 – 12	2 – 9	4 – 10	4 – 8	3 – 7
						Daerah Larangan		
No.4	4,75					-	-	39,5
No.8	2,36					39,1	34,6	26,8-30,8
No.16	1,18					25,6-31,6	22,3-28,3	18,1-24,1
No.30	0,600					19,1-23,1	16,7-20,7	13,6-17,6
No.50	0,300					15,5	13,7	11,4

## Catatan:

1. Untuk HRS-WC dan HRS-Base, paling sedikit 80% agregat lolos ayakan No.8 (2.36mm) harus juga lolos No.30 (0.600mm). Lihat contoh batas-batas "bahan bergradasi senjang" yang lolos ayakan No.8 (2.36mm) dan tertahan ayakan No.30 (0.600mm) dalam tabel 2.3
2. Untuk AC, digunakan titik kontrol gradasi agregat, berfungsi sebagai batas-batas rentang utama yang harus ditempati oleh gradasi-gradasi tersebut. Batas-batas gradasi ditentukan pada ayakan ukuran nominal maksimum, ayakan menengah (2.36mm) dan ayakan terkecil 90.75mm).

Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2001).

Tabel 2.3 Contoh batas-batas "Bahan bergradasi senjang"

% lolos No.8	40	50	60	70
% lolos No.30	Paling sedikit 32	Paling sedikit 40	Paling sedikit 48	Paling sedikit 56
% kesenjangan	8 atau kurang	10 atau kurang	12 atau kurang	14 atau kurang

Sumber: Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (2001).

## 2.3 Agregat

Agregat telah didefinisikan sebagai kumpulan dari pasir, kerikil batu pecah, terak atau bahan lain yang terdiri dari bahan mineral, digunakan bersama-sama dengan bahan pengikat untuk membentuk beton aspal, beton semen dan lain sebagainya. Agregat dapat dipergunakan secara langsung seperti untuk balas rel kereta api, lapisan penyaring dan dipakai berbagai proses pembuatan lain seperti *fluxing* dan lain. (Krebs & Walker, 1971)

Krebs menyatakan bahwa biaya untuk pengadaan agregat merupakan biaya terbesar dalam pengadaan material untuk konstruksi jalan raya. Biaya pengadaan agregat sekitar 30%, jika dibandingkan dengan pengadaan besi yaitu 25%, 19% untuk pengadaan aspal dan 10% untuk pengadaan semen dan selebihnya untuk bahan lain. Dari segi perbandingan jumlah bahan untuk campuran perkerasan aspal, jumlah agregat berkisar antara 90% sampai 95% dari berat total campuran, atau 75% sampai 85% dari total volume campuran.

Agregat adalah bahan struktur utama dan konsekuensinya agregat harus berkualitas baik dan mempunyai gradasi sesuai dengan spesifikasi. Gradasi agregat diklasifikasikan menjadi beberapa gradasi yaitu gradasi rapat, gradasi seragam dan gradasi senjang.

Persyaratan agregat meliputi ukuran dan gradasi, kekuatan dan kekerasan, mempunyai sudut, mempunyai bidang pecah yang hampir sama, porositas yang cukup rendah dan permukaan yang bersih. Ukuran, gradasi, kekuatan, kekerasan dan bentuk agregat diperlukan terutama untuk stabilitas misalnya pada bahan lapis pondasi. Porositas dan bentuk permukaan agregat sangat penting didalam interaksi antara agregat dan aspal.

Menurut (Shell, 1990) agregat dikelompokkan menjadi 3 (tiga), yaitu:

### 2.3.1 Agregat kasar

Agregat kasar yaitu batuan yang tertahan saringan No.8 (2,36 mm). Dalam campuran agregat aspal, agregat kasar sangat penting dalam membentuk kinerja, karena stabilitas dari campuran diperoleh dari saling mengunci antar agregat. Agregat kasar ini membuat campuran *Hot Rolled Sheet* menjadi lebih murah dan meningkatkan kestabilannya. Agregat kasar yang digunakan didalam *Hot Rolled Sheet* adalah batu pecah.

### 2.3.2 Agregat halus

Agregat halus yaitu batuan yang lolos saringan No.8 (2,36 mm) dan tertahan No.200 (0,075 mm). Fungsi utama agregat halus adalah memberikan stabilitas dan

mengurangi deformasi permanen dari campuran melalui saling mengunci dan gesekan antar partikel.

Agregat halus dapat terdiri dari pasir alam, bahan tersaring atau kombinasi dari bahan-bahan tersebut. Agregat halus harus memiliki kekuatan dan kekerasan yang cukup dan mempunyai sudut, mempunyai bidang pecah permukaannya, bersih dan bukan bahan organik. *Hot Rolled Sheet* terutama mengandung agregat halus sehingga agregat halus sangat mempengaruhi kinerja pada saat konstruksi maupun pada masa pelayanan.

### 2.3.3 Filler

*Filler* adalah material yang lolos saringan No.200 (0,075 mm). *Filler* dapat berupa semen, abu batu, kapur tohor, atau debu mineral halus lainnya. *Filler* dapat berfungsi untuk mengurangi jumlah rongga udara dalam campuran, namun demikian jumlah *filler* harus dibatasi pada suatu batas yang menguntungkan. Tetapi tinggi kadar filler cenderung menyebabkan campuran menjadi getas dan akibatnya akan mudah retak akibat beban lalu lintas, pada sisi lain kadar *filler* yang terlampaui rendah menyebabkan campuran menjadi lembek pada temperatur yang relatif tinggi. Jumlah *filler* ideal sebesar antara 0,6 sampai 1,2 yaitu perbandingan persentase *filler* dengan persentase kadar aspal dalam campuran atau lebih dikenal dengan istilah *Dust Proportion*. *Filler* berperan dalam campuran aspal dengan 2 macam cara, yaitu pertama *filler* sebagai modifikasi dari gradasi pasir yang menimbulkan kepadatan campuran dengan lebih banyak titik kontak antara butiran partikel, hal ini akan mengurangi jumlah aspal yang akan mengisi rongga-rongga yang tersisa didalam campuran. Sedangkan peran kedua adalah suatu cara yang baik untuk mempengaruhi kinerja *filler* dengan cara mempertimbangkan proporsi yang menguntungkan dari komposisi agregat halus, *filler* dan aspal didalam mortar, selanjutnya sifat-sifat mortar ini tergantung pada sifat asli dari pasir, jumlah takaran dalam campuran aspal serta viskositas pasta atau bahan pengikat yang digunakan.

### 2.4 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai suatu cairan yang lekat atau berbentuk padat terdiri dari *Hydrocarbons* dan turunannya, yang terlarut dalam *Trichloro-Ethylene*, bersifat tidak mudah menguap serta mudah lunak secara bertahap jika dipanaskan. Aspal berwarna hitam atau kecoklatan, anti terhadap air dan bersifat adhesif (*British Standard 3690: Part 1*, 1989).

Aspal terbuat dari minyak mentah melalui proses penyulingan atau dapat ditemukan dalam kandungan alam sebagai bahan dari komponen alam yang ditemukan bersama-sama material lainnya seperti pada cekungan bumi yang mengandung aspal atau batuan alam yang mengandung aspal.

Aspal merupakan material yang bersifat *visco-elastis* dan memiliki ciri-ciri yang beragam mulai dari yang bersifat sangat lekat sampai yang bersifat elastis. Sifat-sifat aspal lainnya adalah:

- a) Aspal mempunyai sifat *Thixotropy*, yaitu jika dibiarkan tanpa mengalami tegangan regangan akan berakibat aspal menjadi mengeras sesuai dengan jalannya waktu.
- b) Aspal mempunyai sifat *Rheologic*, yaitu hubungan antara tegangan dan regangan dipengaruhi oleh waktu. Apabila mengalami pembebanan dengan jangka waktu yang sangat cepat, maka aspal akan bersifat elastis, tetapi jika pembebanannya terjadi dalam jangka waktu yang lambat, sifat aspal menjadi plastis (*viscous*).
- c) Aspal adalah bahan yang *Thermoplastis*, yaitu viskositasnya akan berubah sesuai dengan perubahan temperatur yang terjadi. Semakin tinggi temperatur aspal, maka viskositasnya akan semakin rendah atau semakin encer, demikian pula sebaliknya.

Pada proses pencampuran dan proses pemadatan sifat aspal dapat ditunjukkan dari nilai viskositasnya, sedangkan pada sebagian besar kondisi saat masa pelayanan aspal mempunyai sifat viskositas yang diwujudkan dalam modulus kekakuan. (Shell, 1990)

Aspal pada lapis keras jalan berfungsi sebagai bahan ikat antar agregat untuk membentuk suatu campuran yang kompak, sehingga akan memberikan kekuatan yang lebih besar dari pada kekuatan masing-masing agregat. Selain sebagai bahan pengikat campuran, aspal juga berfungsi sebagai pelumas saat penghamparan sehingga memudahkan dalam pekerjaan pemadatan dilapangan. (Kerbs & Walker, 1971).

Penggunaan jenis aspal biasanya didasarkan pada kondisi lalu lintas dan iklim pada wilayah tersebut. Jenis aspal ini biasanya ditentukan berdasarkan besarnya penetrasi pada masing-masing aspal tersebut. Jenis aspal dengan penetrasi rendah biasanya digunakan untuk lalu lintas berat dan cuaca yang panas begitu pula sebaliknya. Di Indonesia pada umumnya menggunakan aspal dengan penetrasi 60/70 dan 80/100.

## 2.5 Prosedur Rancangan Campuran Metode Marshall

Konsep dasar dari metode Marshall dalam rancangan campuran aspal telah dikembangkan oleh Bruce Marshall, seorang insinyur bahan aspal bersama-sama dengan

*The Mississippi State Highway Department. The U.S. Army Corp of Engineers*, melanjutkan penelitian dengan ekstensif dan mempelajari hal-hal yang ada kaitannya, meningkatkan dan menambah kelengkapan pada prosedur pengujian *Marshall* dan akhirnya mengembangkan kriteria rancangan campuran. Pengujian ini telah distandarisasi didalam ASTM D1559.

Dua ciri utama perancangan campuran metode *Marshall* adalah pengujian stabilitas dan kelelahan pada benda uji yang telah dipadatkan. Penyiapan benda uji dalam pengujian standar menggunakan prosedur tertentu meliputi pemanasan, pencampuran, dan pemadatan pada campuran agregat dan aspal. Benda uji yang digunakan pada metode *Marshall* berupa benda uji silinder dengan tinggi 64 mm (2.5 inchi) dan garis tengahnya adalah 102 mm (4 inchi).

Benda uji diuji ketahanannya terhadap deformasi pada suhu 60°C dan tingkat pembebanan tetap sebesar 50 mm/menit. Beban maksimum yang terjadi sebelum leleh adalah merupakan stabilitas *Marshall* dan besarnya deformasi pada benda uji sebelum benda uji meleleh adalah kelelahan *Marshall* (*Flow*). Perbandingan stabilitas dan flow disebut *Marshall Quotient* (MQ), merupakan kekakuan semu yang merupakan ukuran dari ketahanan material terhadap deformasi tetap.

Pengujian *Marshall* ditunjukan untuk menentukan kadar aspal optimum dengan menganalisa *Void In the Mix* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), *Void Filled with Asphalt* (VFA), Stabilitas, *Flow* dan *Marshall Quotient* (MQ).

## 2.6 Pengujian Perendaman *Marshall*

Keawetan dari campuran aspal dapat didefinisikan sebagai ketahanan terhadap cuaca termasuk proses penuaan dan akibat gesekan roda lalu lintas. Keawetan juga mengacu kepada kemampuan dari komponen campuran untuk melawan perubahan akibat cuaca. Termasuk karena perubahan didalam aspal akibat penguapan, oksidasi, penguraian dan perubahan dalam campuran sebagai akibat pengaruh air dan penguapan air.

Pengalaman telah menunjukkan bahwa untuk memperkecil pengaruh dari cuaca adalah kadar aspal yang tinggi, gradasi rapat dan pemadatan yang sesuai peraturan serta dibutuhkan campuran yang tidak tembus air. Untuk alasan ini adalah jelas bahwa jika semua faktor lain dianggap tetap, maka untuk menaikkan ketahan campuran yang baik adalah dengan kadar aspal yang setinggi mungkin. Keadaan ini jelas bertentangan dengan kadar aspal yang rendah untuk kebutuhan stabilitas yang tinggi.

Pengujian keawetan yang selalu dipakai dilaboratorium adalah pengujian perendaman *Marshall*. Pengujian ini telah distandarisasi dalam AASHTO T.165-82. Benda uji direndam didalam suatu bak perendaman selama dua puluh empat jam pada suhu 60°C. Kehilangan stabilitas akibat perendaman adalah menentukan terhadap kerusakan oleh pengaruh air. Perbandingan antara stabilitas standar yang ditunjukkan dalam bentuk prosentase, adalah sebagai *Index of Retained Strength* (IRS).

## 2.7 Hasil Penelitian yang Relevan

Sampai saat ini telah banyak penelitian mengenai bahan yang digunakan sebagai *filler* pada campuran beraspal panas, diantaranya adalah:

1. Wenan (1994), telah melakukan penelitian pengaruh dari berbagai jenis *filler* pada sifat-sifat campuran HRA. Jenis *filler* yang digunakan adalah semen, sulfur, abu terbang, kapur terhidrasi dan debu tanah .

Pada kadar optimum, campuran dengan semen masih yang terbaik, dengan nilai stabilitas 1380kg pada 7,76 % kadar bitumen, diikuti oleh campuran dengan abu terbang (1250 kg), kapur terhidrasi (1200 kg), debu tanah (1075 kg) dan sulfur (880 kg), pada 7,67 %; 8,17 %; 8,8 % dan 8,63 % kadar bitumen berurutan.

Campuran dengan semen memberikan nilai *flow* yang terkecil (2,5 mm) pada kadar bitumen optimum, yang mengindikasikan bahwa campuran ini mempunyai kemampuan yang baik dalam menahan deformasi. Nilai *flow* tertinggi (3,1 mm) dicapai oleh campuran dengan debu tanah pada kadar bitumen optimum.

Campuran dengan sulfur memberikan nilai VMA terendah (19,4 %) yang mungkin disebabkan karena kehalusan gradasinya jika dibandingkan dengan yang lain. Campuran dengan abu terbang memberikan nilai VIM yang terkecil (3,2 %) pada kadar bitumen optimum, sedangkan campuran dengan kapur terhidrasi memberikan nilai VIM tertinggi (5 %).

Campuran dengan kapur terhidrasi memberikan hasil yang terbaik *index of retained strength* sebesar 90,6 %. Campuran dengan sulfur hancur ketika direndam pada suhu 60°C selama beberapa saat. Nilai *index of retained strength* yang terendah diberikan oleh campuran dengan debu tanah (70,38 %). Karena kapur terhidrasi, semen dan abu terbang merupakan *filler* dengan aktifitas tinggi, maka hasil tes terendam jauh lebih baik dibandingkan dengan campuran yang menggunakan *filler* nonaktif seperti debu tanah.

Kesimpulan dari penelitiannya bahwa kapur terhidrasi dan abu terbang cukup memadai sebagai pengganti semen. Material ini memenuhi terhadap persyaratan dan kapur terhidrasi berdasarkan data sangat efektif digunakan didalam kasus dimana campuran yang memerlukan ketahanan terhadap pengaruh air.

*Filler* dari debu tanah dapat digunakan pada kondisi lalu lintas ringan sampai sedang, tetapi untuk *filler* jenis sulfur sangat riskan sebagai pengganti semen, juga terjadi kerusakan pada contoh benda uji ketika direndam dalam air temperatur yang relatif tinggi.

Berdasarkan hasil penelitian, Wenan memberikan saran untuk melakukan penelitian bahan *filler* lain yang digunakan secara tersendiri atau digabungkan dan dapat dilakukan pengujian tambahan, misalnya pengujian jejak roda (*whell tracking test*), dan kuat tekan tak langsung (*indirect tensile strength test*) yang digunakan untuk penelitian berikutnya pada sifat-sifat HRA dengan kandungan *filler* tersebut.

2. Yasruddin (2000), telah melakukan penelitian *filler* dari batu bata yang dihaluskan sebagai komponen campuran HRA. Campuran didesain berdasarkan metode *Marshall* untuk variasi gabungan dari *filler* batu bata (BB) dan *filler* debu batu (CR). Kedua bahan *filler* digabungkan dengan perbandingan berat (BB/CR); 100/0, 80/20, 60/40, 40/60, 20/80, dan 0/100.

Kriteria rancangan campuran *Hot Rolled Asphalt* berdasarkan dalam spesifikasi *British Standard*, memenuhi untuk seluruh gabungan campuran dengan kandungan *filler* BB dan *filler* CR. Kadar aspal optimum berkurang dengan kenaikan jumlah pada *filler* CR misalnya, dari 7,5% pada 100% *filler* BB menjadi 7,0% pada 0% *filler* BB. Hal ini memberikan indikasi bahwa *filler* BB lebih banyak penyerapan.

Pada kadar aspal optimum, stabilitas bertambah dan kelelahan berkurang dengan kenaikan dalam jumlah terhadap *filler* CR. Stabilitas yang terkecil (10,59 KN) pada campuran dengan kandungan *filler* BB 100 %, selain itu stabilitas tertinggi (13,64 KN) diidentifikasi untuk campuran dengan kandungan *filler* CR 100 %. Kadar aspal pada maksimum stabilitas sama untuk semua campuran (7,2 %). Campuran dengan kandungan *filler* BB 100 % mempunyai nilai kelelahan yang tinggi (3,6 mm) pada kadar aspal optimum (7,5 %), ketika campuran dibuat dengan menggunakan bahan *filler* CR 100 % menjadi turun (2,6 mm) pada kadar aspal

optimum (7,0 %). Seluruh campuran pada kadar aspal optimum memenuhi persyaratan *British Standard* untuk nilai *flow* tidak melebihi dari 7,0mm.

Rongga dalam campuran berkurang karena proporsi *filler* CR dalam campuran meningkat dan ini sejalan dengan penambahan pada berat volume serta pada kepadatan agregat terkompaksi. Campuran kandungan *filler* BB 100 % mempunyai nilai tinggi rongga dalam campuran (4,3 %) pada kadar aspal optimum, sedangkan campuran dengan kandungan *filler* CR 100 % mempunyai nilai yang rendah (3,00 %).

Campuran dengan kandungan kandungan *filler* BB 100 % memberikan nilai pori yang tinggi dalam mineral agregat pada kadar aspal optimum (20,80 %), hal ini kemungkinan karena halusnya gradasi BB dibandingkan dengan *filler* CR. Nilai rongga dalam mineral agregat yang terendah terlihat pada campuran dengan kandungan *filler* CR 100% (18,60 %).

Seluruh campuran memenuhi syarat Bina Marga dengan indeks sisa stabilitas diatas 75%. Berdasarkan hasil penelitian, Yasruddin memberikan saran untuk melakukan penelitian dengan gradasi yang lain

Perbedaan dalam penelitian ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya, yaitu dengan mencoba memanfaatkan serbuk genteng sebagai *filler* pada campuran beraspal panas yang menggunakan perencanaan campuran untuk lapis permukaan HRS WC yang mengacu pada Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas, Edisi Agustus 2001 (Terakhir), Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

## 2.8 Hipotesa

Hipotesa dalam penelitian ini bahwa campuran aspal panas dengan menggunakan serbuk genteng sebagai *filler* masih dapat memenuhi syarat HRS WC yang mengacu pada Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas, Edisi Agustus 2001 (Terakhir), Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

Penelitian ini menggunakan spesifikasi untuk jalan dengan volume lalu lintas berat ( $> 1$  juta ESA). Karakteristik yang digunakan, yaitu: VMA ( $\geq 18\%$ ), VIM (3-6%), VFA ( $\geq 65\%$ ), stabilitas ( $\geq 800$  kg), *flow* ( $\geq 2$  mm), *Marshall Quotient* ( $\geq 200$  kg/mm), *density* dan IRS ( $\geq 85\%$ ).



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Umum

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Transportasi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Campuran yang digunakan adalah campuran campuran aspal panas HRS WC yang mengikuti Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas, Edisi Agustus 2001 (Terakhir) dari Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. Sedangkan standar-standar pengujian yang digunakan sebagian menggunakan standar Bina Marga yang berupa SK-SK SNI.

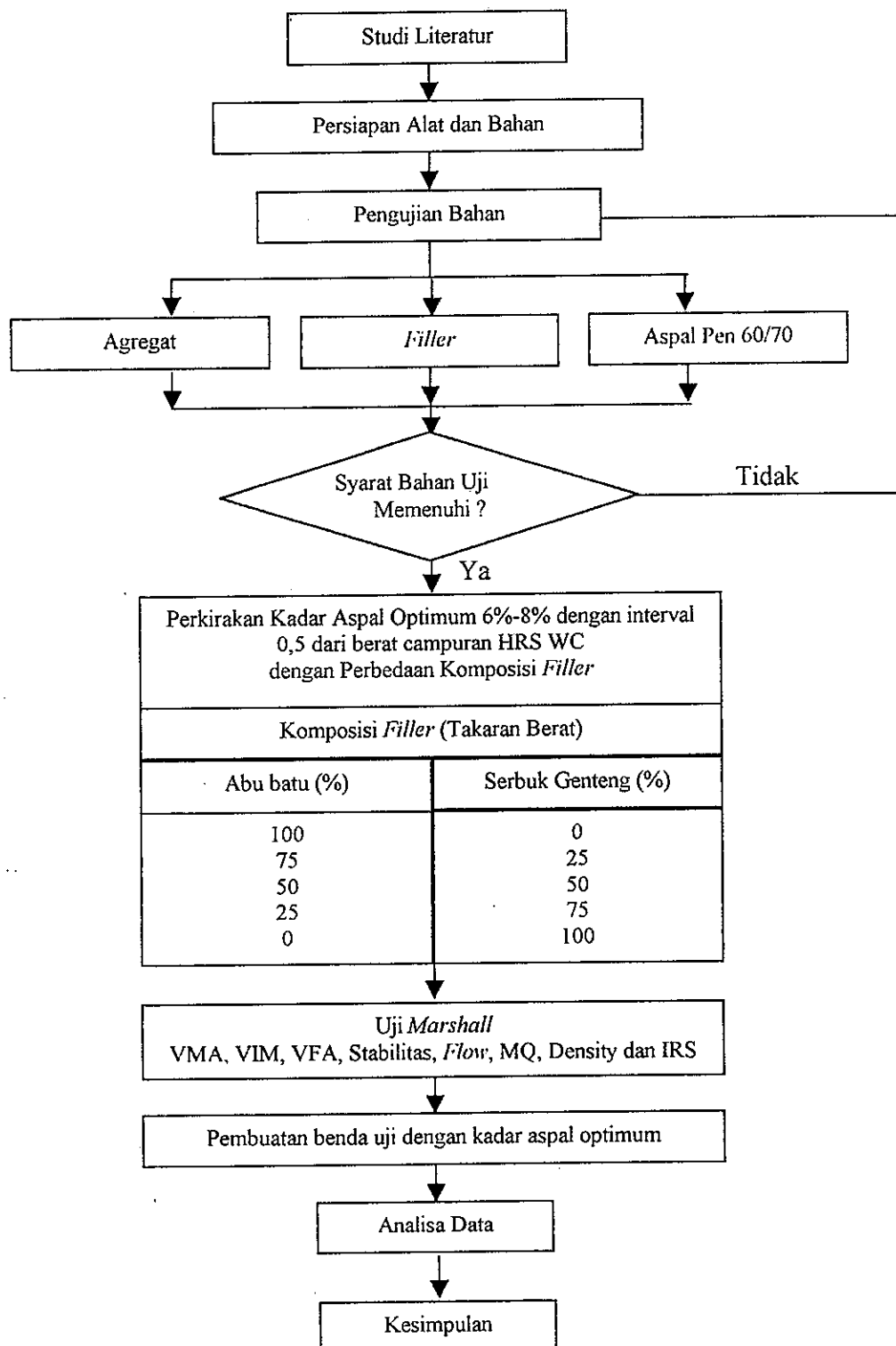
Di dalam penelitian ini, pengujian dilakukan secara bertahap, yaitu terdiri atas pengujian agregat (kasar, halus dan *filler*), aspal dan pengujian terhadap campuran (uji *Marshall*). Pengujian terhadap agregat termasuk pemeriksaan berat jenis, pengujian *Los Angeles*, kelekatan terhadap aspal, *sand equivalent* dan penyerapan air. Untuk pengujian aspal termasuk juga pengujian penertrasi, titik lembek, titik nyala, kehilangan berat, kelarutan ( $\text{CCl}_4$ ), daktilitas, penetrasi setelah kehilangan berat, daktilitas setelah kehilangan berat dan berat jenis. Sedangkan metode yang digunakan sebagai penguji campuran adalah metode *Marshall*, dimana dari pengujian *Marshall* tersebut didapatkan hasil-hasil yang berupa karakteristik *Marshall* yaitu, *Void in Mineral Aggregate* (VMA), *Void In the Mix* (VIM), *Void Filled with Asphalt* (VFA), stabilitas, *flow*, dan *Marshall Quotient*. Pengujian terakhir adalah uji rendaman *Marshall* untuk mendapatkan nilai stabilitas sisa atau *Index of Retained Strength* (IRS).

Kemudian setelah semua pengujian tersebut di atas telah dilakukan dan mendapatkan hasil yang berupa data, maka selanjutnya dapat dilakukan perhitungan atau analisa dan setelah itu dapat dilakukan pembahasan apakah hasil analisa yang didapat sesuai dengan hipotesa, ataupun hasil tersebut bertolak belakang dengan hipotesa. Dan terakhir, dapat diambil kesimpulan dan juga saran dari penelitian yang telah dilakukan.

#### 3.2 Tahapan Penelitian

Sebelum melakukan suatu penelitian, maka perlu adanya perencanaan terhadap cara atau tahap-tahap dalam penelitian. Perencanaan tersebut penting sebab dapat dijadikan suatu dasar atau acuan dalam menentukan langkah penelitian ini. Selain itu perencanaan ini penting agar ketelitian dalam mencari data dan menguji sampel di laboratorium dapat

terjaga atau dalam kata lain hasil penelitian yang dicapai dapat akurat. Penelitian dilakukan dalam beberapa tahap, sesuai dengan Gambar 3.1



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian Secara Keseluruhan

### 3.2.1 Uraian Tahapan Penelitian

1. Sebelum melangkah lebih jauh ke dalam penelitian ini, maka pertama kali yang dilakukan adalah studi literatur atau studi pustaka. Studi literatur bertujuan untuk mendapatkan referensi-referensi yang berguna sebagai dasar dari penelitian ini.
2. Setelah mendapat referensi yang diinginkan, maka kemudian melangkah pada tahap selanjutnya, yaitu persiapan alat dan bahan. Pembuatan proposal penelitian juga termasuk ke dalam tahapan ini, selain juga menyiapkan bahan-bahan dan alat-alat, terutama laboratorium yang akan digunakan sebagai tempat penelitian.
3. Kemudian setelah persiapan alat dan bahan matang, maka langkah selanjutnya adalah pekerjaan penelitian itu sendiri. Karena jalannya penelitian tersebut berada di laboratorium, maka dapat dikatakan bahwa penelitian ini sebagian besar adalah pekerjaan laboratorium.
4. Pertama kali, pekerjaan laboratorium dimulai dengan pemeriksaan bahan penelitian dan pemeriksaan tersebut dibagi menjadi tiga hal, yaitu :
  - a. Pekerjaan pengujian agregat
 

Pemeriksaan terhadap agregat tersebut meliputi : pemeriksaan saringan (*Sieve Test*), berat jenis agregat, uji abrasi, kelekatan agregat terhadap aspal, *sand equivalent* dan penyerapan air.
  - b. Pekerjaan pengujian *filler*

Penelitian ini menggunakan dua bahan *filler*, yaitu *filler* abu batu dan *filler* serbuk genteng. Pemeriksaan yang dilakukan terhadap *filler* ini adalah pengujian *Sieve Test* no. 200 (0.075 mm) dan juga pengujian terhadap berat jenisnya. Untuk pengujian berat jenis dilakukan pada lima komposisi *filler*, yaitu: 100% abu batu, 75% abu batu + 25% serbuk genteng, 50% abu batu + 50% serbuk genteng, 25% abu batu + 75% serbuk genteng dan 100% serbuk genteng.
  - c. Pekerjaan pengujian aspal
 

Dalam pengujian aspal ini dimulai dari penyediaan aspal, kemudian aspal tersebut diperiksa sesuai standar, yaitu : penetrasi, titik lembek, titik nyala, kehilangan berat, kelarutan  $\text{CCl}_4$ , daktilitas, penetrasi setelah kehilangan berat, daktilitas setelah kehilangan berat dan berat jenis,
5. Kemudian setelah semua material/bahan penelitian di atas memenuhi syarat, maka selanjutnya dapat dibuat benda uji sesuai resep (Lampiran D1-D6) dan kemudian

diuji dengan *Marshall*, pengujian berguna untuk menguji apakah benda uji tersebut sudah memenuhi syarat dasar campuran *Marshall* dan juga berguna untuk mendapatkan kadar aspal optimum dari masing-masing benda uji (sesuai dengan komposisi *filler* yang digunakan).

6. Setelah didapatkan kadar aspal optimum, maka selanjutnya dibuat benda uji yang baru menggunakan campuran dengan kadar aspal optimum yang telah diuji sesuai resep (Lampiran F1).
7. Selanjutnya benda uji tersebut diuji lagi juga menggunakan uji *Marshall* untuk kemudian dapat ditentukan *Void in Mineral Aggregate* (VMA), *Void In the Mix* (VIM), *Void Filled with Asphalt* (VFA), stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient* dan *Density* dan IRS.
8. Setelah semua data di atas diketahui, maka langkah selanjutnya adalah analisa hasil penelitian. Dalam analisa hasil penelitian ini berguna untuk mendapatkan perhitungan-perhitungan yang berguna untuk mendapatkan hasil-hasil dalam bentuk angka-angka sebagai bagian dari tujuan penelitian ini.
9. Kemudian setelah semua perhitungan dilakukan, maka hal selanjutnya yang dilakukan adalah pembahasan mengenai semua hasil penelitian, apakah sesuai dengan hipotesa atau tidak.
10. Terakhir, kemudian dari semua penelitian yang dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan dan saran.

### 3.3 Bahan dan Asal Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah agregat kasar, agregat halus, *filler* abu batu, *filler* serbuk genteng dan aspal penetrasi 60/70.

Agregat kasar, agregat halus dan *filler* abu batu diambil dari PT. Adhi Karya , Mangkang, Semarang yang berasal dari kali Kuto, Batang. *Filler* serbuk genteng tanah liat berasal dari limbah pabrik genteng daerah Soka, Kebumen. Sedangkan aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70 produksi Pertamina.

### 3.4 Peralatan Penelitian

#### 3.4.1 Alat pengujian agregat dan *filler*

Alat yang digunakan untuk pengujian agregat antara lain mesin *Los Angeles* (tes Abrasi), saringan standar (penyusun gradasi agregat), alat pengering (*oven*), timbangan

berat, alat uji berat jenis (picnometer, timbangan, pemanas), bak perendam dan tabung *Sand equivalent*.

### 3.4.2 Alat pengujian aspal

Alat yang digunakan untuk pengujian aspal antara lain alat uji penetrasi, alat uji titik lembek, alat uji titik nyala dan titik bakar, alat uji daktilitas, alat uji berat jenis (picnometer dan timbangan), alat uji kelarutan.

### 3.4.3 Alat pengujian campuran metode *Marshall*

Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode *Marshall*, meliputi:

- a. Alat tekan *Marshall* yang terdiri dari kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 2500 kg (5000 lbs) yang dilengkapi dengan arloji pengukur kelelehan plastis (*flow meter*).
- b. Alat cetak benda uji berbentuk silinder diameter 10,2 cm (4 inchi) dengan tinggi 7,5 cm (3 inchi) dan dilengkapi plat dan leher lambung.
- c. Penumbuk manual yang mempunyai permukaan rata berbentuk silinder dengan diameter 9,8 cm (3-7/8 inchi), berat 4,5 kg (10 lbs) dengan tinggi jatuh bebas 45,7 cm (18 inchi).
- d. Ejektor untuk mengeluarkan benda uji setelah dipadatkan.
- e. Bak perendam yang dilengkapi pengatur suhu.
- f. Alat-alat penunjang meliputi panci pencampur, kompor pemanas, termometer, kipas angin, sendok pengaduk, kaos tangan anti panas, sarung tangan karet, kain lap, kaliper, spatula, timbangan dan spidol untuk menandai benda uji.

## 3.5 Pengujian dan Persyaratan Bahan

Pengujian bahan meliputi pemeriksaan agregat, *filler* dan aspal. Pemeriksaan agregat dan filler bertujuan untuk mengetahui apakah agregat yang dipilih memenuhi syarat sebagai bahan susun campuran panas, sedangkan pemeriksaan aspal untuk mengetahui apakah aspal yang dipilih sudah memenuhi syarat sebagai bahan perekat.

### 3.5.1 Agregat dan *filler*

Pengujian yang akan dilakukan terhadap agregat dan *filler* dapat dilihat pada Tabel

3.1.

Tabel 3.1 Pengujian dan persyaratan untuk agregat dan filler

No	Pengujian	Metoda	Syarat
<b>Agregat kasar</b>			
1	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	$\leq 3\%$
2	Berat jenis <i>bulk</i>	SNI 03-1969-1990	$\geq 2.5$
3	Berat jenis <i>apparent</i>	SNI 03-1969-1990	-
4	Berat jenis efektif	SNI 03-1969-1990	-
5	Keausan / <i>Los angeles abrasion test</i>	SNI 03-2417-1991	$\leq 40\%$
6	Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 06-2439-1991	$\geq 95\%$
<b>Agregat halus</b>			
1	Penyerapan air	SNI 03-1970-1990	$\leq 3\%$
2	Berat jenis <i>bulk</i>	SNI 03-1970-1990	$\geq 2.5$
3	Berat jenis <i>apparent</i>	SNI 03-1970-1990	-
4	Berat jenis efektif	SNI 03-1970-1990	-
5	<i>Sand Equivalent</i>	AASHTO T-176	$\geq 50\%$
<b>Filler</b>			
1	Berat jenis	SNI 03-1970-1990	-

### 3.5.2 Aspal

Pengujian yang akan dilakukan terhadap aspal dapat dilihat pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Pengujian dan persyaratan untuk aspal pen 60/70

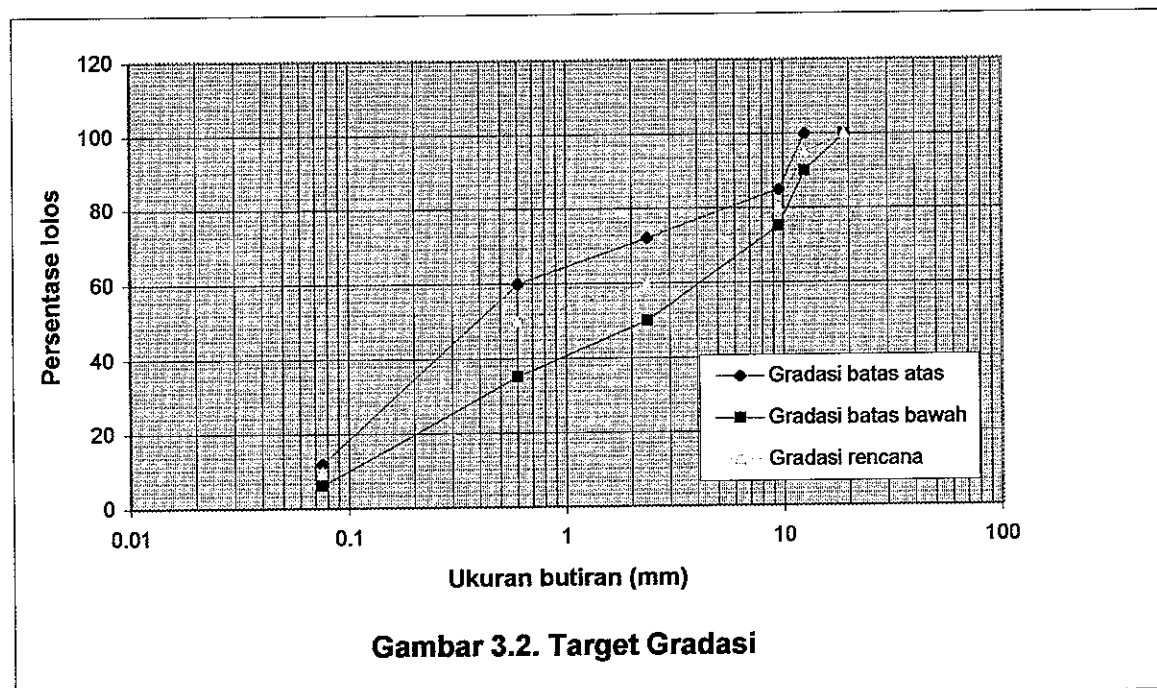
No	Pengujian	Metoda	Syarat		Satuan
			Min	Mak	
1.	Penetrasi (25°C, 100 gr, 5 detik)	SNI 06-2456-1991	60	79	0,1 mm
2.	Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	48	58	°C
3.	Titik Nyala	SNI 06-2433-1991	200	-	°C
4.	Kehilangan berat (163°C, 5jam)	SNI 06-2440-1991	-	0,8	% Berat
5.	Kelarutan CCl <sub>4</sub>	ASTM-D2042-81	99	-	% Berat
6.	Daktailitas (25°C, 5cm/menit)	SNI 06-2432-1991	100	-	Cm
7.	Pen setelah kehilangan berat	SNI 06-2456-1991	54		% Asli
8.	Daktailitas setelah kehilangan berat	SNI 06-2432-1991	50		Cm
9.	Berat jenis (25°C)	SNI 06-2441-1991	1	-	Gr/cc

### 3.6 Perencanaan Campuran HRS WC

Jenis campuran yang digunakan untuk pembuatan benda uji adalah campuran HRS WC yang mengikuti Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas 2001. Proporsi bahan susun campuran menggunakan perbandingan berat. Berdasarkan hasil analisis saringan maka ditentukan berat masing-masing ukuran agregat dengan persentase yang telah ditetapkan terlebih dahulu dalam target gradasi. Setiap benda uji memerlukan berat agregat 1200 gram. Syarat untuk HRS WC yaitu paling sedikit 80% agregat lolos ayakan No.8 (2,36 mm) harus juga lolos ayakan No.30 (0,600 mm). Target gradasi dapat dilihat pada Tabel 3.3. dan Gambar 3.2.

Tabel. 3.3 Target gradasi dan perhitungan berat Campuran HRS WC

Ukuran Ayakan		Persentase Lolos	Hasil Hitungan (%)		Berat (gram)
ASTM	mm		Target Gradasi	Yang Tertahan	
¾"	19	100	100	0	-
½"	12.5	90 – 100	95	5	60
3/8"	9.5	75 – 85	80	15	180
No.8	2.36	50 – 72	60	20	240
No.30	0.600	35 – 60	48	12	144
No.200	0.075	6 – 12	7	41	492
		P a n		7	84
Berat total agregat (gram)					1200



### 3.7 Perencanaan Jumlah Benda Uji

#### a. Tahap I ( Pengujian *Marshall* mencari kadar aspal optimum )

Berdasarkan perkiraan kadar aspal optimum yaitu 6%, 6,5%, 7%, 7,5% dan 8% dan variasi komposisi *filler* dibuat benda uji masing-masing 4 (empat) benda uji, 2 (dua) benda uji kering dan 2 (dua) benda uji basah. Kemudian dilakukan pengujian *Marshall* 2 x 75 tumbukan untuk menentukan VIM, VMA, VFA, Stabilitas, *Flow*, dan *Marshall Quotient*. Dari grafik hubungan antara kadar aspal dengan parameter Marshall, tentukan kadar aspal optimum.

#### b. Tahap II ( Pengujian *Marshall* dengan kadar aspal optimum )

Buat benda uji dengan kadar aspal optimum dengan komposisi *filler* masing-masing 4 (empat) benda uji, 2 (dua) benda uji kering dan 2 (dua) benda uji basah. Lakukan kembali uji *Marshall* 2 x 75 tumbukan untuk menentukan VIM, VMA, VFA, Stabilitas, *Flow*, *Marshall Quotient* dan IRS

Jumlah benda uji dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5

Tabel 3.4 Jumlah benda uji tahap I

Komposisi <i>filler</i>	Jumlah benda uji dengan kadar aspal					Jumlah Benda uji
	6%	6,5%	7%	7,5%	8%	
100% AB	4	4	4	4	4	20
75% AB + 25% SG	4	4	4	4	4	20
50% AB + 50% SG	4	4	4	4	4	20
25% AB + 75% SG	4	4	4	4	4	20
100% SG	4	4	4	4	4	20
Sub total I						100

Tabel 3.5 Jumlah benda uji tahap II

Komposisi <i>filler</i>	Jumlah benda uji dengan kadar aspal optimum	Jumlah Benda uji
100% AB	4	4
75% AB + 25% SG	4	4
50% AB + 50% SG	4	4
25% AB + 75% SG	4	4
100% SG	4	4
Sub total II		20

Jumlah total benda uji = Sub total I + sub total II = 120 benda uji



### 3.8 Pengujian *Marshall*

1. Menimbang agregat sesuai dengan persentase pada target gradasi yang diinginkan untuk masing-masing fraksi dengan berat agregat 1200 gram, kemudian keringkan campuran agregat tersebut sampai beratnya tetap pada suhu  $(105 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ .
2. Memanaskan aspal untuk pencampuran yaitu pada viskositas kinematik  $170 \pm 20$  centitokes, agar temperatur pencampuran agregat dan aspal tetap maka pencampuran dilakukan diatas pemanas dan diaduk hingga rata.
3. Setelah temperatur pemadatan tercapai yaitu pada viskositas kinematik  $280 \pm 30$  centitokes, maka campuran tersebut dimasukkan ke dalam cetakan yang telah dipanasi ( $95^{\circ}\text{C}$  hingga  $150^{\circ}\text{C}$ ) dan diolesi vaselin terlebih dahulu, serta bagian bawah cetakan diberi sepotong kertas filter atau kertas lilin yang telah dipotong sesuai dengan diameter cetakan, sambil ditusuk-tusuk dengan spatula sebanyak 15 kali dibagian tepi dan 10 kali dibagian tengah.
4. Pemadatan dilakukan menggunakan alat pemadat manual dengan jumlah tumbukan 75 kali dibagian sisi atas, kemudian dibalik dan sisi bagian bawah juga ditumbuk 75 kali.
5. Setelah proses pemadatan selesai benda uji didinginkan pada suhu ruang kurang lebih 24 jam, setelah dingin benda uji dikeluarkan dengan ejektor dan diberi kode.
6. Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel dan diukur tinggi benda uji dengan ketelitian 0,1mm dan ditimbang beratnya diudara.
7. Benda uji direndam dalam air selama 24 jam supaya jenuh.
8. Setelah jenuh benda uji ditimbang dalam air.
9. Benda uji dikeluarkan dari bak perendaman dan dikeringkan dengan kain pada permukaan agar kondisi permukaan kering jenuh (*Saturated Surface Dry*) kemudian ditimbang.
10. Benda uji direndam dalam bak perendaman (*waterbath*) pada suhu  $60^{\circ}\text{C}$  selama 30 menit. Pengujian untuk mendapatkan nilai stabilitas sisa, dilakukan dengan merendam benda uji dalam bak perendaman (*waterbath*) pada suhu  $60^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam.
11. Bagian dalam permukaan kepala penekan dibersihkan dan dilumasi agar benda uji mudah dilepaskan setelah pengujian.
12. Benda uji dikeluarkan dari bak perendaman, letakkan benda uji tepat ditengah pada bagian bawah kepala penekan kemudian letakkan bagian atas kepala penekan dengan memasukkan lewat batang penuntun, kemudian letakkan pemasangan yang sudah

lengkap tersebut ditengah alat pembebanan, arloji kelelahan (*flow meter*) dipasang pada salah satu batang penuntun.

13. Kepala penekan dinaikkan hingga menyentuh atas cincin penguji kemudian diatur kedudukan jarum arloji penekan dan arloji *flow* pada angka nol.
14. Pembebanan dilakukan dengan kecepatan tetap 51mm (2 inchi) per menit, hingga kegagalan benda uji terjadi yaitu pada saat arloji pembebanan berhenti dan mulai kembali berputar menurun, pada saat itu pula baca arloji kelelahan. Titik pembacaan pada saat benda uji mengalami kegagalan adalah merupakan nilai stabilitas *Marshall*. Nilai stabilitas *marshall* dicocokkan dengan tabel kalibrasi kemudian dikalikan dengan koreksi volume benda uji sehingga menjadi nilai stabilitas *marshall* terkoreksi. Tabel kalibrasi dan tabel koreksi volume benda uji terdapat pada lampiran A1 dan A2.
15. Setelah pengujian selesai, kepala penekan diambil, bagian atas dibuka dan benda uji dikeluarkan. Waktu yang diperlukan dari saat diangkatnya benda uji dari rendaman air sampai tercapainya beban maksimum tidak boleh melebihi 30 detik.

### 3.9 Analisa Hitungan

Analisa perhitungan menggunakan persamaan-persamaan berikut ini (Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak, 1999) :

1. Berat Jenis *Bulk* dari Total Agregat:

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sbn}}} \dots\dots\dots (1)$$

2. Berat Jenis *Apparent* dari Total Agregat:

$$G_{sa} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sa1}} + \frac{P_2}{G_{sa2}} + \frac{P_3}{G_{sa3}} + \dots + \frac{P_n}{G_{sani}}} \dots\dots\dots (2)$$

3. Berat Jenis Efektif dari Total Agregat

$$G_{se} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \dots\dots\dots (3)$$

4. Berat isi atau kepadatan (*density*):

$$G_{mb} = \frac{\text{Berat benda uji di udara}}{\text{Isi benda uji}} \dots\dots\dots (4)$$

5. Berat Jenis Teoritikai Maksimum dari Campuran (*Compacted Mixture*)

$$G_{nm} = \frac{P_{nm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots (5)$$

6. Rongga dalam mineral agregat (*Void in the Mineral Aggregate*) dalam persen terhadap total volume:

$$VMA = 100 - \left( \frac{G_{MB} \times P_s}{G_{SB}} \right) \dots\dots\dots (6)$$

7. Rongga Udara dalam Campuran (*Void in the Mix*) dalam persen terhadap total volume:

$$VIM = 100 \times \left( \frac{G_{nm} - G_{mb}}{G_{nm}} \right) \dots\dots\dots (7)$$

8. Persen rongga terisi aspal (*Void Filled with Asphalt*) dalam persen terhadap VMA:

$$VFA = 100 \times \left( \frac{VMA - VIM}{VMA} \right) \dots\dots\dots (8)$$

9. *Marshall Quotient* (MQ)

$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots\dots\dots (9)$$

10. Indeks Kekuatan Rendaman *Marshall* (*Index of Retained Strength*)

$$IRS = \left( \frac{MSI}{MSS} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (10)$$

## Keterangan:

$G_{sb}$	= Berat Jenis <i>Bulk</i> total agregat dalam gr/cc
$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$	= Persen berat dari agregat 1, 2, 3, ..., n
$G_{sb1}, G_{sb2}, G_{sb3}, \dots, G_{sbn}$	= Berat Jenis <i>Bulk</i> dari agregat 1, 2, 3, ..., n
$G_{sa}$	= Berat Jenis <i>Apparent</i> dari total agregat
$G_{sa1}, G_{sa2}, G_{sa3}, \dots, G_{san}$	= Berat Jenis <i>Apparent</i> dari agregat 1, 2, 3, ..., n
$G_{sc}$	= Berat Jenis Efektif dari total agregat
$G_{mm}$	= Berat Jenis Maksimum Teoritis dari campuran padat tanpa rongga udara
$P_{mm}$	= Persentase total agregat
$P_b$	= Kadar aspal dari total berat campuran
$G_b$	= Berat Jenis dari aspal
$P_s$	= Persentase agregat, persen dari total berat campuran
$G_{mb}$	= Berat Jenis <i>Bulk</i> dari campuran / <i>density</i>
VIM	= <i>Void In the Mix</i> (Persen rongga dalam campuran)
VMA	= <i>Void in Mineral Aggregate</i>
VFA	= <i>Voids Filled with Asphalt</i> (Persen Rongga terisi Aspal)
MS	= Stabilitas <i>Marshall</i>
MF	= <i>Marshall Flow</i> (kelelehan)
MSS	= Stabilitas <i>Marshall</i> kondisi Standar
MSI	= Stabilitas <i>Marshall</i> kondisi setelah direndam selama 24 jam dengan suhu 60°C
IRS	= <i>Indeks of Retained Strength</i>

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Penelitian

Hasil penelitian ini meliputi : pengujian agregat, pengujian aspal pen 60/70 dan hasil pengujian *Marshall*.

##### 4.1.1 Hasil Pengujian Agregat

Hasil pengujian agregat ex. Kali Kuto, Batang, meliputi agregat kasar, agregat halus dan *filler* dapat dilihat pada Tabel 4.1. Hasil pengujian agregat secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran B1-B7.

Tabel 4.1 Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat

No	Pengujian	Metoda	Syarat	Hasil	Keterangan
Agregat kasar					
1.	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	$\leq 3\%$	2,2%	Memenuhi
2.	Berat jenis <i>bulk</i>	SNI 03-1969-1990	$\geq 2.5$	2,609	Memenuhi
3.	Berat jenis <i>apparent</i>	SNI 03-1969-1990	-	2,768	Memenuhi
4.	Berat jenis efektif	SNI 03-1969-1990	-	2,688	Memenuhi
5.	Keausan/ <i>Los angeles abrasion test</i>	SNI 03-2417-1991	$\leq 40\%$	23,73%	Memenuhi
6.	Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 06-2439-1991	$\geq 95\%$	98%	Memenuhi
Agregat halus					
1.	Penyerapan air	SNI 03-1970-1990	$\leq 3\%$	1,667%	Memenuhi
2.	Berat jenis <i>bulk</i>	SNI 03-1970-1990	$\geq 2.5$	2,777	Memenuhi
3.	Berat jenis <i>apparent</i>	SNI 03-1970-1990	-	2,916	Memenuhi
4.	Berat jenis efektif	SNI 03-1970-1990	-	2,846	Memenuhi
5.	<i>Sand Equivalent</i>	AASHTO T-176	$\geq 50\%$	73,231 %	Memenuhi
<i>Filler</i>					
1.	Berat Jenis				
	100% Abu Batu	SNI 03-1970-1990	-	2,681	Memenuhi
	75% Abu Batu + 25% SerbukGenteng		-	2,564	Memenuhi
	50% Abu Batu + 50% SerbukGenteng		-	2,407	Memenuhi
	25% Abu Batu + 75% SerbukGenteng		-	2,369	Memenuhi
	100% Serbuk Genteng		-	2,224	Memenuhi

Secara keseluruhan baik agregat kasar, agregat halus dan *filler* telah memenuhi persyaratan sebagai bahan campuran HRS WC.

#### 4.1.2 Hasil Pengujian Aspal

Hasil pengujian aspal pen 60/70 ex. Pertamina dapat dilihat pada Tabel 4.2. Hasil secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran C1-C9.

Tabel 4.2. Rekapitulasi Hasil Pengujian Aspal pen 60/70

No	Pengujian	Metoda	Satuan	Syarat		Hasil	Ket.
				Min	Mak		
1.	Penetrasi (25°C, 100 gr, 5 detik)	SNI 06-2456-1991	0,1 mm	60	79	65,3	Memenuhi
2.	Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	°C	48	58	51,5	Memenuhi
3.	Titik Nyala	SNI 06-2433-1991	°C	200	-	335	Memenuhi
4.	Kehilangan berat (163°C, 5jam)	SNI 06-2440-1991	% Berat	-	0,8	0,0385	Memenuhi
5.	Kelarutan CCl <sub>4</sub>	ASTM-D2042-81	% Berat	99	-	99,436	Memenuhi
6.	Daktailitas (25°C, 5cm/menit)	SNI 06-2432-1991	Cm	100	-	> 110	Memenuhi
7.	Penetrasi setelah kehilangan berat	SNI 06-2456-1991	% Asli	54		90,96	Memenuhi
8.	Daktailitas setelah kehilangan berat	SNI 06-2432-1991	Cm	50		> 110	Memenuhi
9.	Berat jenis (25°C)	SNI 06-2441-1991	Gr/cm <sup>3</sup>	1	-	1,050	Memenuhi

Hasil pengujian aspal pen 60/70 menunjukkan bahwa bahan aspal telah memenuhi standar aspal pen 60/70.

#### 4.1.3 Hasil Pengujian Marshall

Hasil pengujian ini untuk mencari kadar aspal optimum. Kadar aspal optimum didapat dari tengah-tengah rentang karakteristik *Marshall* yaitu VMA, VIM, VFA, Stabilitas, *Flow*, dan *Marshall Quotient* yang memenuhi syarat campuran HRS WC untuk lalu lintas berat (> 1 juta ESA).

Persyaratan yang digunakan sesuai dengan Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas, edisi Agustus 2001 dan untuk VIM sesuai dengan Pedoman Perencanaan Campuran Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak, Tahun 1999 dari Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

Rekapitulasi hasil pengujian *Marshall* campuran HRS WC dengan berbagai komposisi *filler* dapat dilihat pada Tabel 4.3-4.7. Contoh perhitungan dapat dilihat pada Lampiran H1, sedangkan hasil secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran E1-E11.

Tabel. 4.3. Rekapitulasi Pengujian *Marshall* Campuran HRS WC dengan *filler* 100% Abu Batu.

No	Karakteristik	Syarat	Kadar Aspal (%)				
			6	6,5	7	7,5	8
1.	VMA (%)	≥ 18	17,518	18,159	18,918	19,582	19,324
2.	VIM (%)	3 – 6	5,988	5,546	5,199	4,777	3,246
3.	VFA (%)	≥ 65	65,818	69,461	72,525	75,692	83,231
4.	Stabilitas (kg)	≥ 800	1229,685	1258,980	1140,645	1007,720	1003,935
5.	<i>Flow</i> (mm)	≥ 2	1,935	2,525	2,935	4,765	5,625
6.	MQ (kg/mm)	≥ 200	679,064	517,929	389,930	224,525	180,985
7.	<i>Density</i> (gr/cc)	-	2,370	2,364	2,355	2,348	2,369
8.	IRS (%)	≥ 85	99,417	96,473	87,785	96,210	87,321

Tabel. 4.4. Rekapitulasi Pengujian *Marshall* Campuran HRS WC dengan *filler* 75% Abu Batu + 25% Serbuk Genteng.

No	Karakteristik	Syarat	Kadar Aspal (%)				
			6	6,5	7	7,5	8
1.	VMA (%)	≥ 18	17,662	18,477	19,110	19,902	20,904
2.	VIM (%)	3 – 6	6,204	5,963	5,471	5,202	5,225
3.	VFA (%)	≥ 65	64,986	67,778	71,547	73,872	75,044
4.	Stabilitas (kg)	≥ 800	1208,620	1221,565	1216,495	1086,690	1068,490
5.	<i>Flow</i> (mm)	≥ 2	1,910	2,320	3,175	4,070	4,115
6.	MQ (kg/mm)	≥ 200	633,103	527,461	387,143	267,646	270,833
7.	<i>Density</i> (gr/cc)	-	2,358	2,347	2,341	2,331	2,314
8.	IRS (%)	≥ 85	98,839	88,594	88,563	96,560	87,293

Tabel. 4.5. Rekapitulasi Pengujian *Marshall* Campuran HRS WC dengan *filler* 50% Abu Batu + 50% Serbuk Genteng.

No	Karakteristik	Syarat	Kadar Aspal (%)				
			6	6,5	7	7,5	8
1.	VMA (%)	≥ 18	20,338	19,008	18,484	19,808	20,421
2.	VIM (%)	3 – 6	9,330	6,652	4,855	5,202	4,716
3.	VFA (%)	≥ 65	55,010	65,013	73,758	74,006	76,909
4.	Stabilitas (kg)	≥ 800	1046,020	1209,465	1165,290	1106,660	1016,825
5.	<i>Flow</i> (mm)	≥ 2	1,315	1,400	2,300	2,800	3,290
6.	MQ (kg/mm)	≥ 200	808,168	864,737	508,475	400,269	335,354
7.	<i>Density</i> (gr/cc)	-	2,270	2,321	2,348	2,323	2,317
8.	IRS (%)	≥ 85	87,650	95,156	87,259	92,230	90,551

Tabel. 4.6. Rekapitulasi Pengujian *Marshall* Campuran HRS WC dengan *filler* 25% Abu Batu + 75% Serbuk Genteng.

No	Karakteristik	Syarat	Kadar Aspal (%)				
			6	6,5	7	7,5	8
1.	VMA (%)	$\geq 18$	18,392	18,939	19,676	19,872	20,448
2.	VIM (%)	3 – 6	7,109	6,565	6,237	5,268	4,737
3.	VFA (%)	$\geq 65$	61,363	65,344	68,303	73,497	76,844
4.	Stabilitas (kg)	$\geq 800$	1111,350	1193,750	1133,860	1148,100	1086,690
5.	Flow (mm)	$\geq 2$	2,100	2,560	3,240	3,205	3,630
6.	MQ (kg/mm)	$\geq 200$	538,103	503,634	350,611	374,036	302,173
7.	Density (gr/cc)	-	2,323	2,320	2,311	2,318	2,314
8.	IRS (%)	$\geq 85$	98,703	98,044	94,718	91,712	88,411

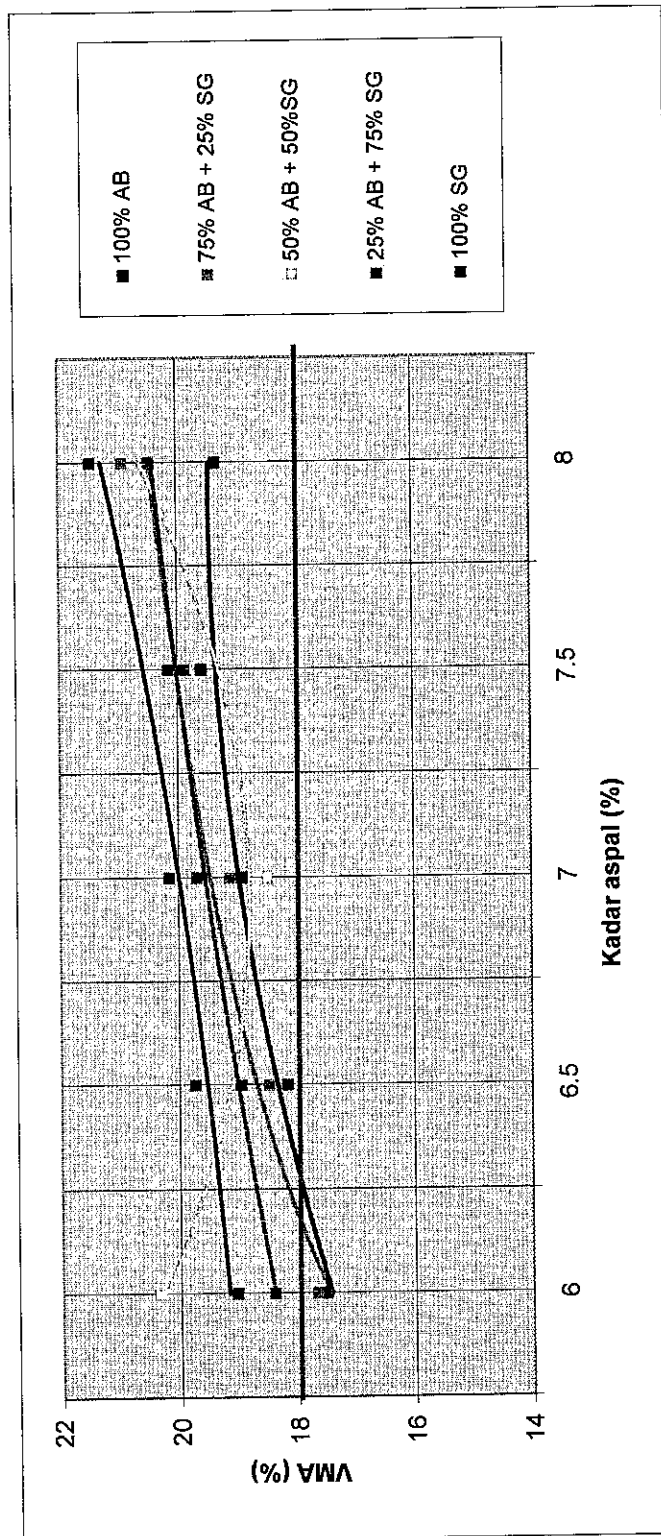
Tabel. 4.7. Rekapitulasi Pengujian *Marshall* Campuran HRS WC dengan *filler* 100% Serbuk Genteng.

No	Karakteristik	Syarat	Kadar Aspal (%)				
			6	6,5	7	7,5	8
1.	VMA (%)	$\geq 18$	19,031	19,720	20,144	20,142	21,452
2.	VIM (%)	3 – 6	7,917	7,546	6,861	5,664	6,013
3.	VFA (%)	$\geq 65$	58,400	61,739	65,939	71,883	71,984
4.	Stabilitas (kg)	$\geq 800$	1313,235	1288,040	1184,185	1170,405	1058,895
5.	Flow (mm)	$\geq 2$	1,825	2,050	3,615	3,120	4,115
6.	MQ (kg/mm)	$\geq 200$	728,839	632,853	328,138	375,061	259,044
7.	Density (gr/cc)	-	2,295	2,287	2,287	2,300	2,274
8.	IRS (%)	$\geq 85$	99,331	96,551	94,674	87,676	92,077

Dari hasil pengujian *Marshall* digambar Grafik hubungan antara VMA, VIM, VFA, Stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient* dan *Density* dengan kadar aspal pada campuran HRS WC dengan berbagai komposisi *filler*. Setiap grafik dibuat garis batas-batas persyaratan.

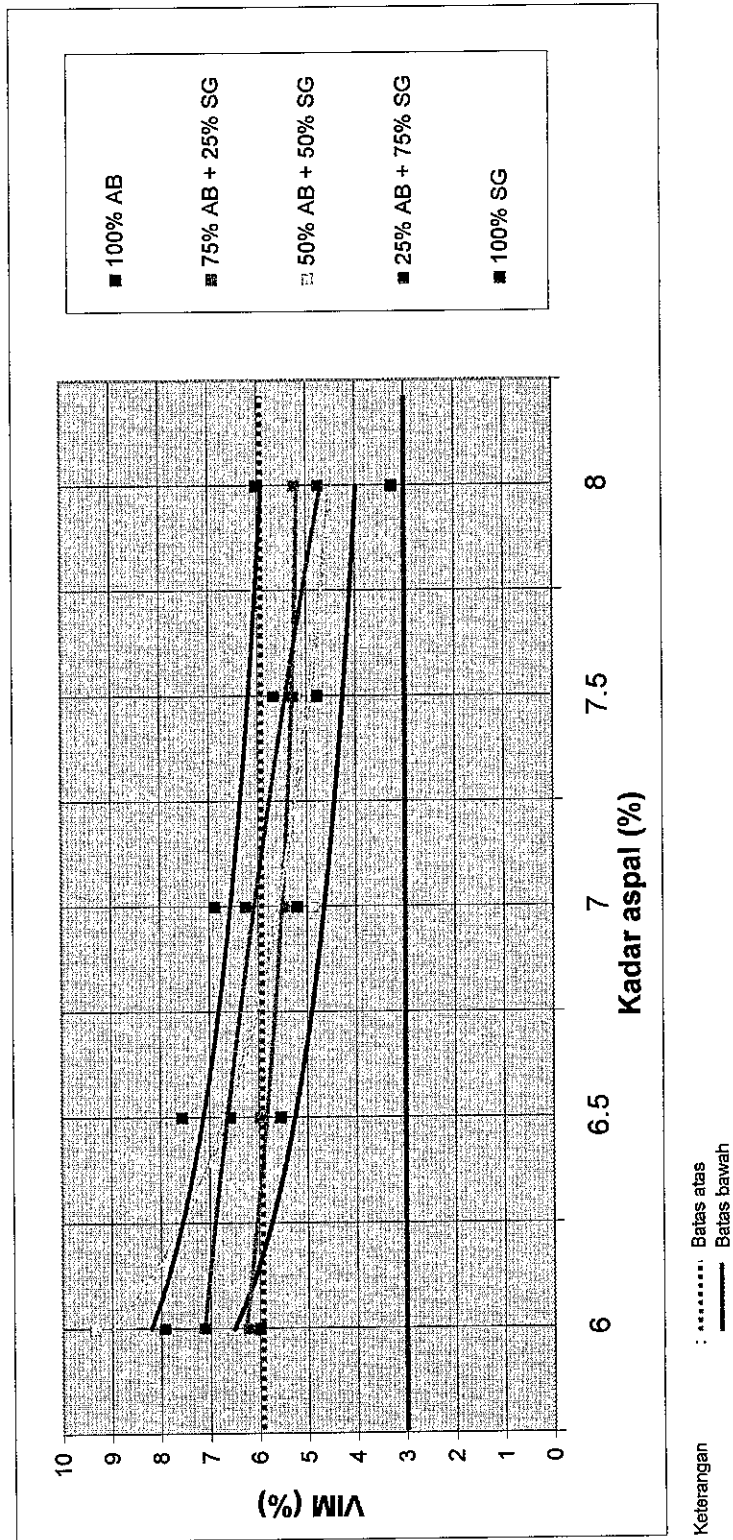
Grafik hubungan antara VMA, VIM, VFA, Stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient* dan *Density* dengan kadar aspal pada campuran HRS WC pada berbagai komposisi *filler* dapat dilihat pada Gambar 4.1-4.7.



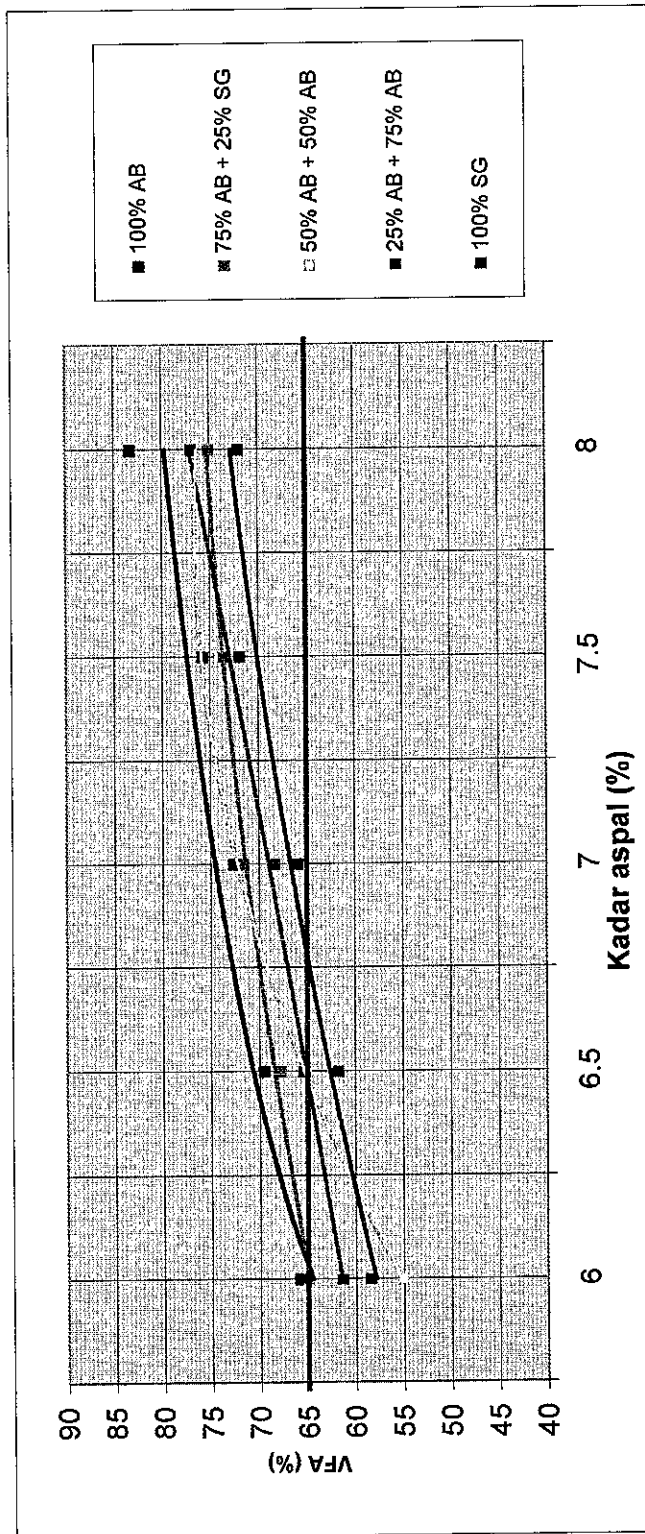


Keterangan : ..... Batas atas  
 ————— Batas bawah

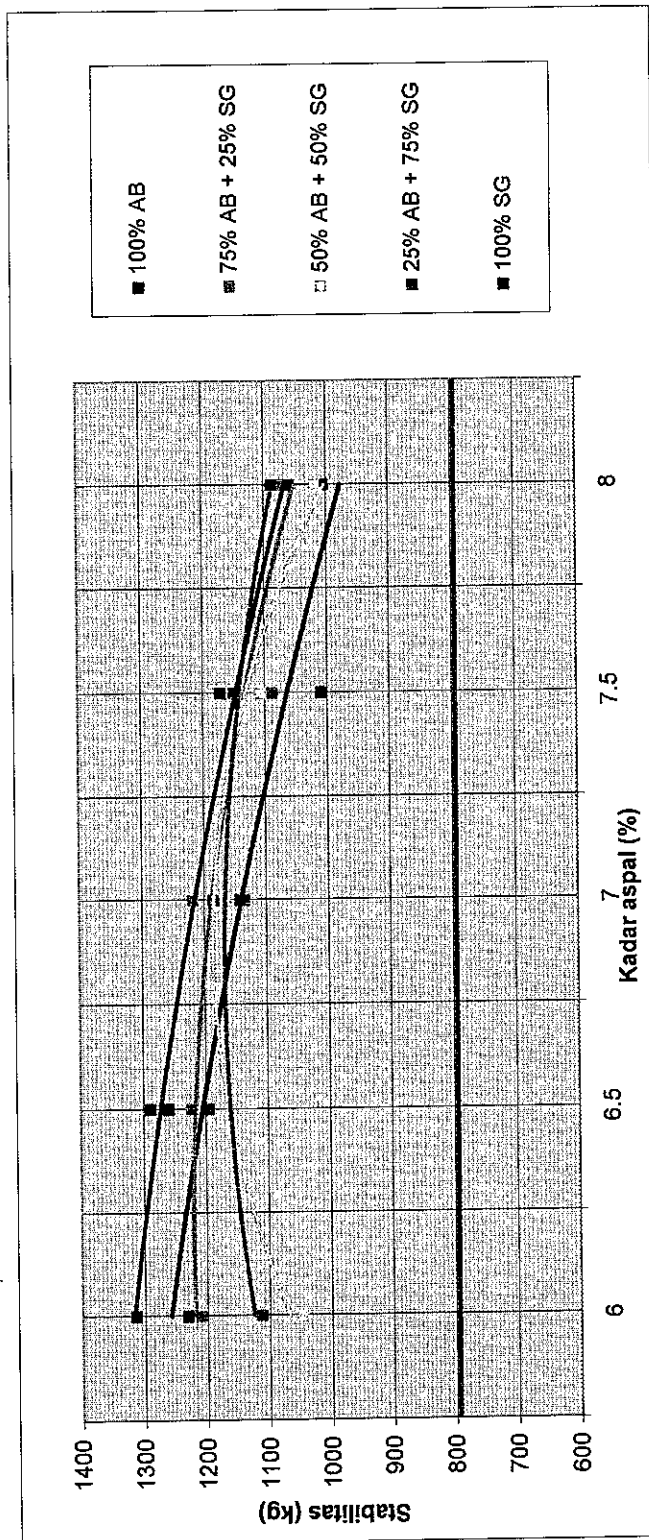
Gambar 4.1 Grafik hubungan antara VMA dan kadar aspal campuran HRS WC dengan berbagai komposisi *filler*



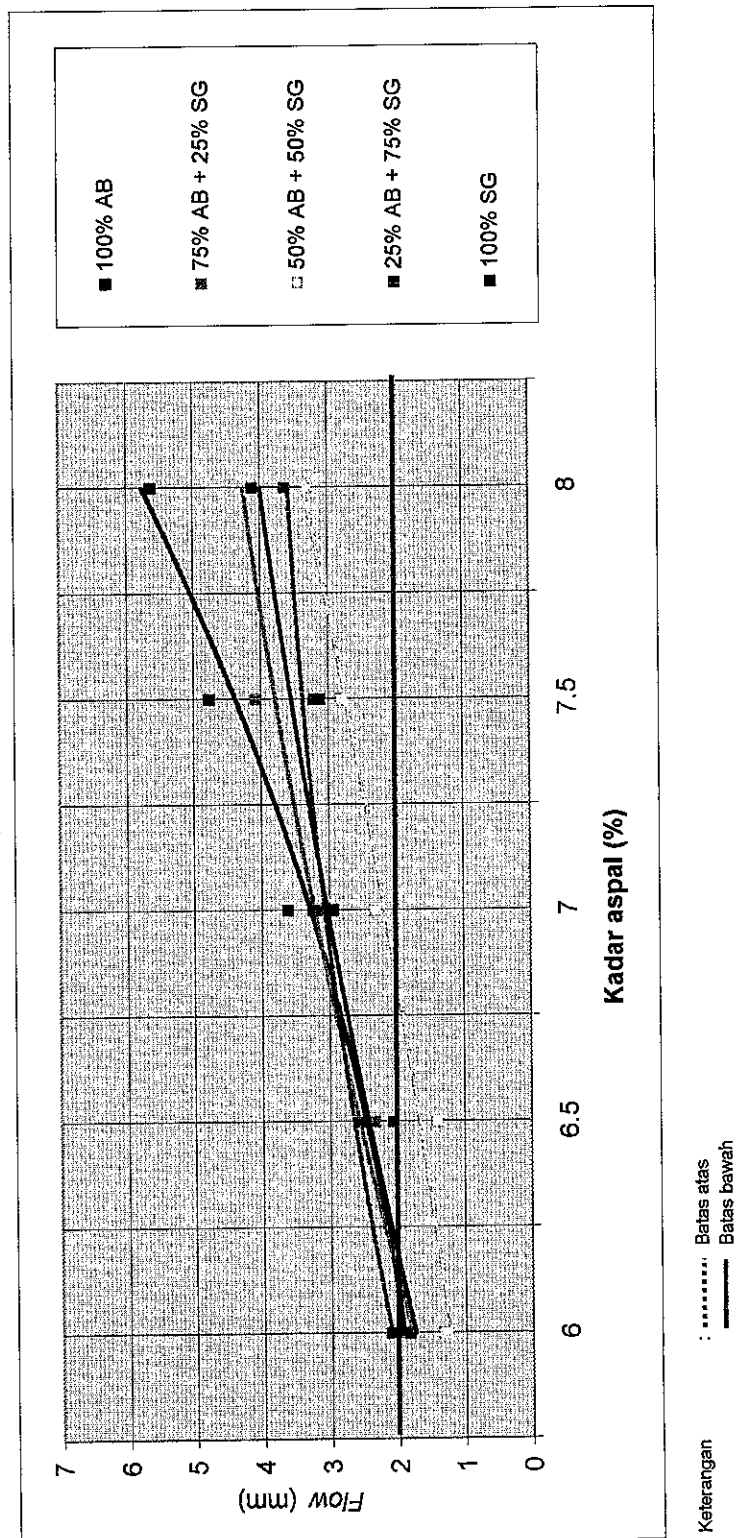
Gambar 4.2 Grafik hubungan antara VIM dan kadar aspal campuran HRS WC dengan berbagai komposisi *filler*



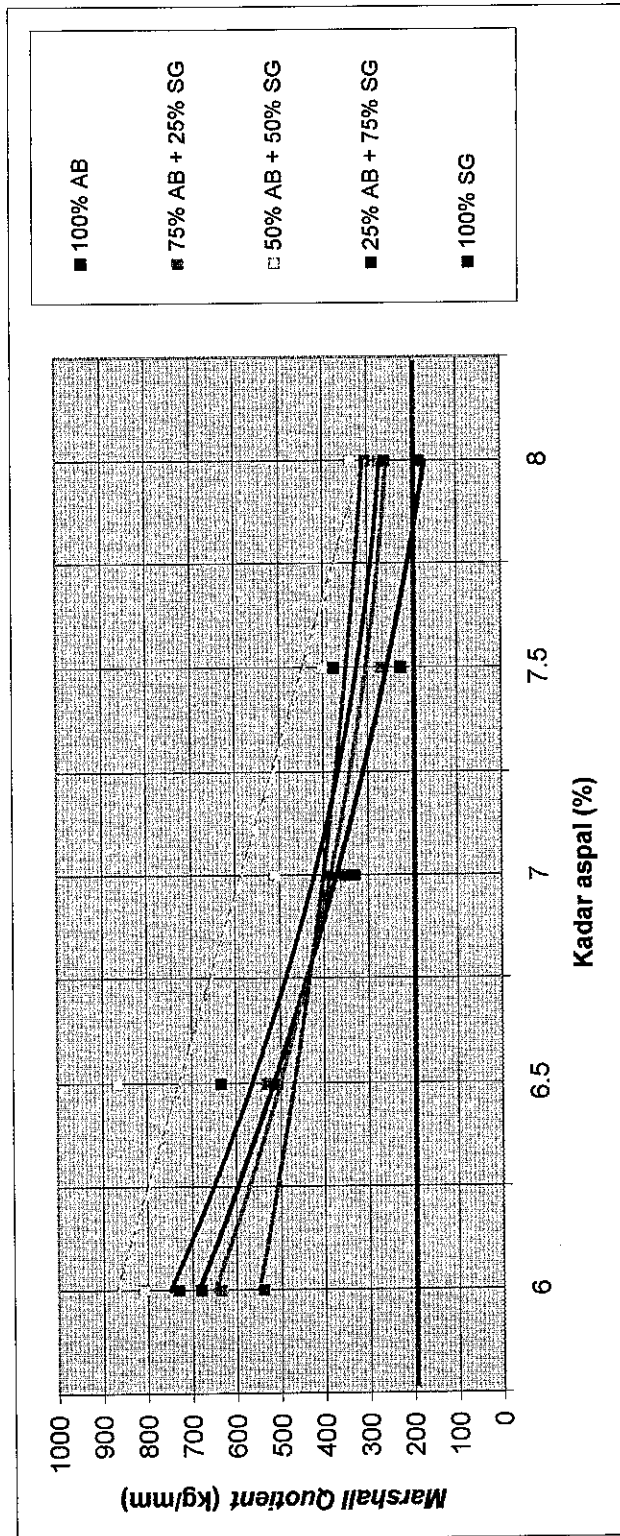
Gambar 4.3 Grafik hubungan antara VFA dan kadar aspal campuran HRS WC dengan berbagai komposisi *filler*



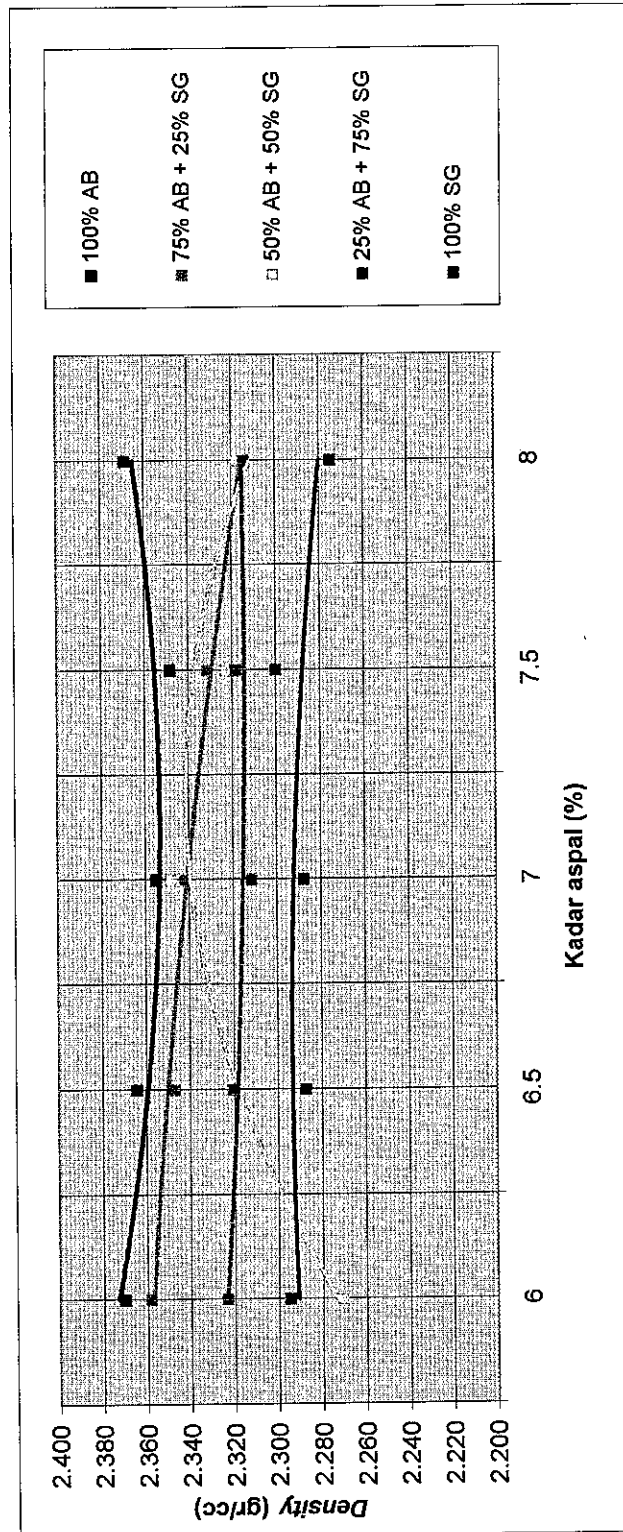
Gambar 4.4 Grafik hubungan antara Stabilitas dan kadar aspal campuran HRS WC dengan berbagai komposisi *filler*



Gambar 4.5 Grafik hubungan antara *Flow* dan kadar aspal campuran HRS WC dengan berbagai komposisi *filler*



Gambar 4.6 Grafik hubungan antara *Marshall Quotient* dan kadar aspal campuran HRS WC dengan berbagai komposisi *filler*



Gambar 4.7 Grafik hubungan antara *Density* dan kadar aspal campuran HRS WC dengan berbagai komposisi *filler*

Dari grafik hubungan antara VMA, VIM, VFA, Stabilitas, *Flow* dan *Marshall Quotient* dengan kadar aspal pada campuran HRS WC dengan berbagai komposisi *filler* dibuat tabel penentuan kadar aspal optimum. Tabel kadar aspal optimum campuran HRS WC dengan berbagai komposisi *filler* dapat dilihat pada Tabel 4.8-4.12.

Tabel 4.8 Kadar aspal optimum campuran HRS WC dengan *filler* 100% Abu Batu

VMA (%)					
VIM (%)					
VFA (%)					
Stabilitas (Kg)					
FLOW (mm)					
MQ (Kg/mm)					
Kadar aspal (%)	6	6.5	7	7.5	8
Kadar aspal optimum (%)	7				

Tabel 4.9 Kadar aspal optimum campuran HRS WC dengan *filler* 100% Serbuk Genteng

VMA (%)					
VIM (%)					
VFA (%)					
Stabilitas (Kg)					
FLOW (mm)					
MQ (Kg/mm)					
Kadar aspal (%)	6	6.5	7	7.5	8
Kadar aspal optimum (%)	7.8				



Tabel 4.10 Kadar aspal optimum campuran HRS WC dengan *filler* 75% Abu Batu + 25% Serbuk Genteng

VMA (%)					
VIM (%)					
VFA (%)					
Stabilitas (Kg)					
FLOW (mm)					
MQ (Kg/mm)					
Kadar aspal (%)	6	6.5	7	7.5	8
Kadar aspal optimum (%)	7.2				

Tabel 4.11 Kadar aspal optimum campuran HRS WC dengan *filler* 50% Abu Batu + 50% Serbuk Genteng

VMA (%)					
VIM (%)					
VFA (%)					
Stabilitas (Kg)					
FLOW (mm)					
MQ (Kg/mm)					
Kadar aspal (%)	6	6.5	7	7.5	8
Kadar aspal optimum (%)	7.4				

Tabel 4.12 Kadar aspal optimum campuran HRS WC dengan *filler* 25% Abu Batu + 75% Serbuk Genteng

VMA (%)					
VIM (%)					
VFA (%)					
Stabilitas (Kg)					
FLOW (mm)					
MQ (Kg/mm)					
Kadar aspal (%)	6	6.5	7	7.5	8
Kadar aspal optimum (%)	7.6				

Dari Tabel 4.8-4.12. diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran HRS WC dengan berbagai komposisi *filler*, dapat dilihat pada tabel 4.13.

Tabel 4.13 Kadar Aspal Optimum pada Campuran HRS WC dengan berbagai Komposisi *Filler*

Campuran HRS WC		
No	Komposisi <i>Filler</i>	Kadar Aspal Optimum (%)
1.	100% Abu Batu	7
2.	75% Abu Batu + 25% Serbuk Genteng	7,2
3.	50% Abu Batu + 50% Serbuk Genteng	7,4
4.	75% Abu Batu + 25% Serbuk Genteng	7,6
5.	100% Serbuk Genteng	7,8

#### 4.1.4 Hasil Pengujian *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum

Hasil pengujian ini untuk mengetahui karakteristik *Marshall* pada kadar aspal optimum. Hasil ini terdiri dari dua tahap. Pertama, hasil pengujian *Marshall* dengan asumsi kadar aspal optimum yang digunakan sama dengan kadar aspal optimum campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (KAO:7%). Kedua, hasil pengujian *Marshall* dengan kadar aspal optimum masing-masing campuran. Rekapitulasi hasil pengujian *Marshall* dengan kadar aspal optimum 7% dan kadar aspal optimum masing-masing campuran HRS WC dengan berbagai komposisi *filler* dapat dilihat pada Tabel 4.14 dan 4.15. Hasil secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran E1-E11.

Tabel 4.14. Rekapitulasi Pengujian *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum 7%

No	Karakteristik	Syarat	Campuran HRS WC pada Kadar Aspal Optimum 7%				
			100%AB	75%AB + 25%SG	50% AB + 50% SG	25% AB + 75% SG	100%SG
1.	VMA (%)	≥ 18	18,226	19,110	18,484	19,676	20,144
2.	VIM (%)	3 – 6	5,407	5,471	4,855	6,237	5,664
3.	VFA (%)	≥ 65	70,346	71,547	73,758	68,303	71,883
4.	Stabilitas (kg)	≥ 800	1204,350	1216,495	1165,290	1133,860	1184,185
5.	<i>Flow</i> (mm)	≥ 2	3,025	3,175	2,300	3,240	3,615
6.	MQ (kg/mm)	≥ 200	404,887	387,143	508,475	350,611	328,138
7.	<i>Density</i> (gr/cc)	-	2,350	2,341	2,348	2,311	2,287
8.	IRS (%)	≥ 85	86,371	88,563	87,259	94,718	94,674

Tabel 4.15. Rekapitulasi Pengujian *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum Campuran HRS WC dengan Berbagai Komposisi *Filler*

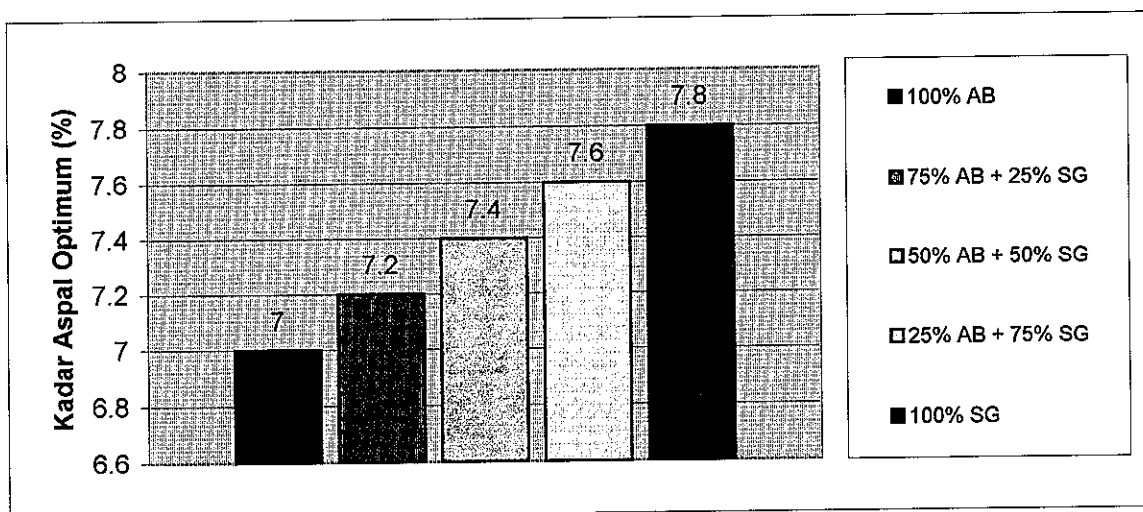
No	Karakteristik	Syarat	Campuran HRS WC pada Kadar Aspal Optimum				
			KAO: 7%	KAO: 7,2%	KAO: 7,4%	KAO: 7,6%	KAO: 7,8%
			100%AB	75%AB + 25%SG	50% AB + 50% SG	25% AB + 75% SG	100%SG
1.	VMA (%)	$\geq 18$	18,226	18,553	19,494	19,630	20,450
2.	VIM (%)	3 – 6	5,407	5,062	5,459	4,827	5,127
3.	VFA (%)	$\geq 65$	70,346	72,716	71,996	75,454	75,009
4.	Stabilitas (kg)	$\geq 800$	1204,350	1160,175	1031,065	1110,275	988,790
5.	Flow (mm)	$\geq 2$	3,025	3,575	4,400	3,250	4,210
6.	MQ (kg/mm)	$\geq 200$	404,887	333,513	258,795	351,760	238,529
7.	Density (gr/cc)	-	2,350	2,345	2,319	2,325	2,304
8.	IRS (%)	$\geq 85$	86,371	88,690	98,700	88,216	98,386

## 4.2 Pembahasan

Dari data-data hasil pengujian selanjutnya dibahas sesuai maksud dan tujuan penelitian.

### 4.2.1 Pengaruh Penggunaan *Filler* Serbuk Genteng terhadap Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum bertambah seiring berkurangnya *filler* abu batu atau seiring bertambahnya *filler* serbuk genteng. Data ini memberikan indikasi bahwa komposisi *filler* mempengaruhi kadar aspal optimum. Kadar aspal optimum terendah (7%) adalah didapat dari campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu, sedangkan campuran yang menggunakan *filler* 100% serbuk genteng mempunyai kadar aspal optimum tertinggi (7,8%). Kadar aspal optimum ( 7,2% ; 7,4% dan 7,6% ) didapat dari campuran yang menggunakan *filler* 75% abu batu + 25% serbuk genteng; 50% abu batu + 50% serbuk genteng dan 25% abu batu + 75% serbuk genteng. Grafik kadar aspal optimum campuran HRS WC untuk berbagai komposisi *filler* dapat dilihat pada Gambar 4.8.



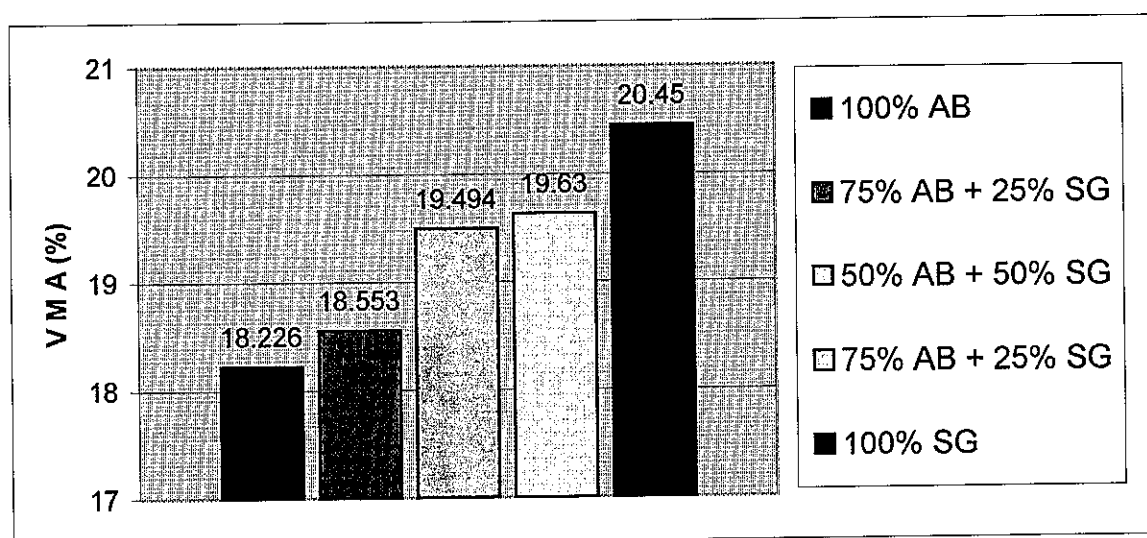
Gambar 4.8 Grafik kadar aspal optimum campuran HRS WC untuk berbagai komposisi *filler*.

Hal ini menandakan bahwa penyerapan *filler* serbuk genteng lebih besar dari pada *filler* abu batu.

#### 4.2.2 Pengaruh Penggunaan *Filler* Serbuk Genteng terhadap VMA

Nilai minimum rongga dalam mineral agregat adalah untuk menghindari banyaknya rongga udara yang menyebabkan material menjadi berpori. Rongga pori dalam mineral agregat tergantung pada ukuran butir, susunan, bentuk dan metode pemadatan.

Grafik nilai VMA campuran HRS WC untuk berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Grafik nilai VMA campuran HRS WC untuk berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal optimum.

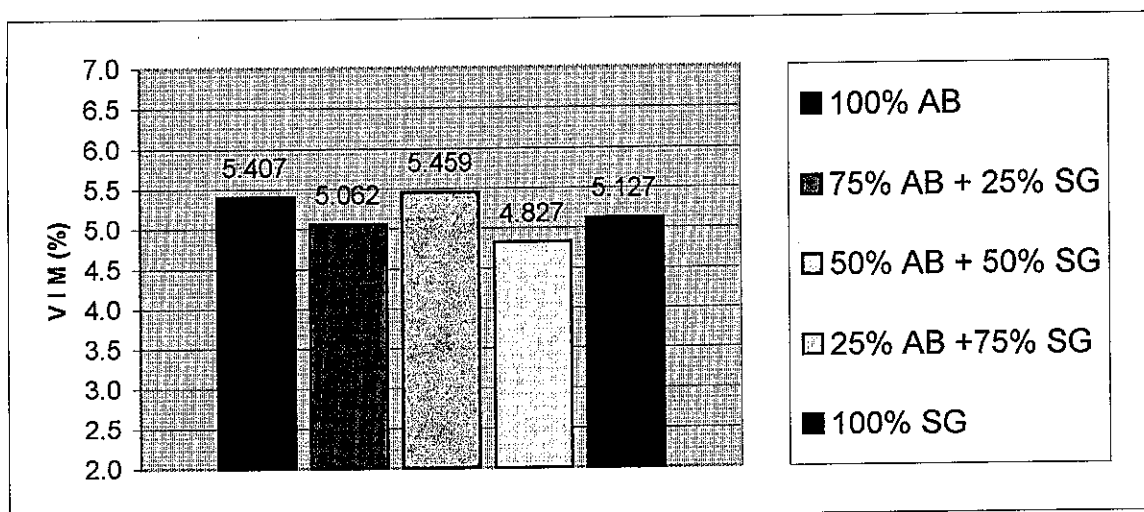
Dari Gambar 4.9 dapat diketahui bahwa semua campuran HRS WC berbagai komposisi *filler* memenuhi syarat ( $\geq 18\%$ ). Nilai VMA semakin besar seiring berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap. Nilai VMA terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (18,226%) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 100% serbuk genteng (20,45%). Nilai VMA ( 18,553 ; 19,494% dan 19,63% ) didapat dari campuran yang menggunakan *filler* 75% abu batu + 25% serbuk genteng; 50% abu batu + 50% serbuk genteng dan 25% abu batu + 75% serbuk genteng.

Begitu juga nilai VMA campuran berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal 7% (lihat Tabel 4.14). Nilai VMA semakin besar seiring berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap. Nilai VMA terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (18,226%) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 100% serbuk genteng (20,144%). Semua campuran HRS WC berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal 7% memenuhi syarat ( $\geq 18\%$ ). Hal ini membuktikan bahwa peningkatan nilai VMA terjadi karena berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng, bukan karena bertambahnya kadar aspal. Aspal yang mengisi rongga dalam mineral agregat terserap oleh *filler* serbuk genteng, sehingga rongga dalam mineral agregat semakin besar.

#### 4.2.3 Pengaruh Penggunaan *Filler* Serbuk Genteng terhadap VIM

VIM atau rongga dalam campuran adalah parameter yang biasanya berkaitan dengan durabilitas dan kekuatan dari campuran. Semakin kecil nilai VIM, maka campuran akan bersifat lebih kedap air, namun nilai VIM yang terlalu kecil dapat mengakibatkan keluarnya aspal ke permukaan.

Grafik nilai VIM campuran HRS WC untuk berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Grafik nilai VIM campuran HRS WC untuk berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal optimum.

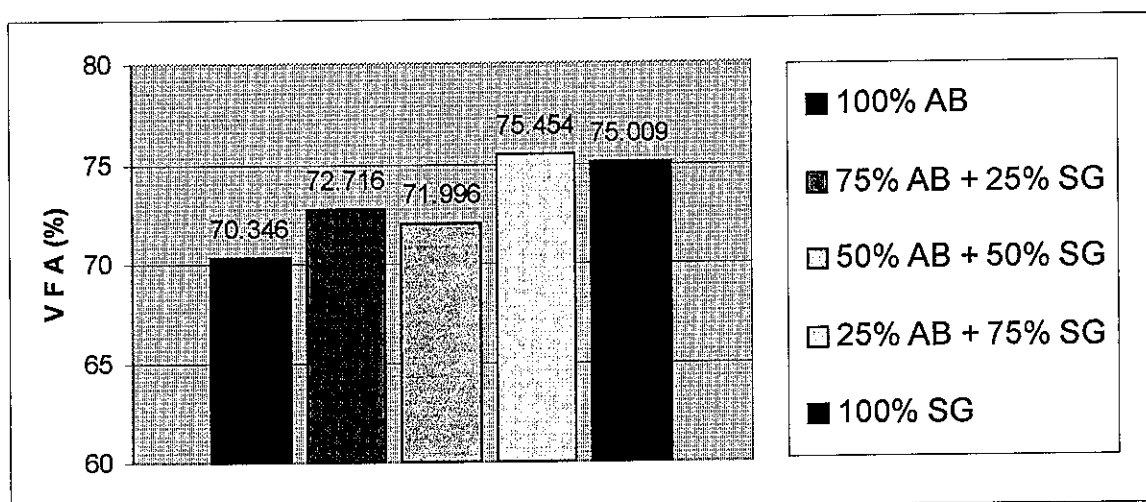
Dari Gambar 4.10 dapat diketahui bahwa semua campuran HRS WC untuk berbagai komposisi *filler* memenuhi syarat (3-6%). Nilai VIM cenderung semakin rendah dengan berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap. Nilai VIM terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 75% abu batu + 25% serbuk genteng (4,827%) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 50% abu batu + 50% serbuk genteng (5,459%). Nilai VIM ( 5,407% ; 5,062% dan 5,127% ) didapat dari campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu ; 75% abu batu + 25% serbuk genteng dan 100% serbuk genteng.

Nilai VIM pada campuran berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal 7% cenderung semakin tinggi dengan berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng, tetapi peningkatannya tidak signifikan (lihat Tabel 4.14). Nilai VIM terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (5,407%) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 25% abu batu + 75% serbuk genteng (6,237%). Nilai VIM (5,471% ; 4,855% dan 5,664%) didapat dari campuran yang menggunakan *filler* 75% abu batu + 25% serbuk genteng; 50% abu batu + 50% serbuk genteng dan 100% serbuk genteng. Hal ini membuktikan bahwa bertambahnya nilai VIM campuran pada kadar aspal 7% terjadi karena bertambahnya pula *filler* serbuk genteng. Sedangkan berkurangnya nilai VIM campuran pada kadar aspal optimum disebabkan oleh semakin banyaknya kadar aspal yang digunakan, sehingga rongga dalam campuran semakin kecil.

#### 4.2.4 Pengaruh Penggunaan *Filler* Serbuk Genteng terhadap VFA

Nilai VFA memperlihatkan persentase rongga terisi aspal. Apabila VFA besar berarti banyak rongga yang terisi aspal sehingga kedapatan campuran terhadap udara dan air menjadi lebih tinggi. Hal ini disebabkan aspal yang berjumlah besar apabila menerima beban dan panas akan mencari rongga yang kosong. Jika rongga yang tersedia sedikit dan semua telah terisi, aspal akan naik kepermukaan yang kemudian terjadi *bleeding*. Sebaliknya apabila nilai VFA terlalu kecil berarti rongga yang ada cukup besar. Kedapatan perkerasan akan semakin kecil karena udara akan mengoksidasi aspal dalam campuran sehingga keawetannya berkurang.

Grafik nilai VFA campuran HRS WC untuk berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 4.11.



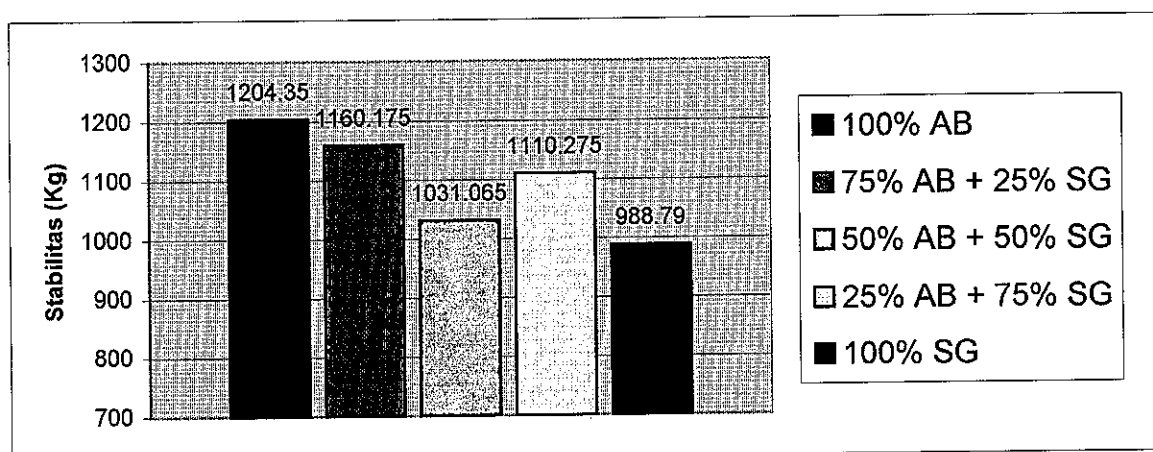
Gambar 4.11 Grafik nilai VFA campuran HRS WC untuk berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal optimum.

Dari Gambar 4.11 dapat diketahui bahwa semua campuran HRS WC untuk berbagai komposisi *filler* memenuhi syarat VFA ( $\geq 65\%$ ). Nilai VFA mempunyai kecenderungan semakin besar seiring berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap. Nilai VFA terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (70,436%) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 25% abu batu + 75% serbuk genteng (75,454%). Nilai VFA (72,716% ; 71,996% dan 75,009% ) didapat dari campuran yang menggunakan *filler* 75% abu batu + 25% serbuk genteng; 50% abu batu + 50% serbuk genteng dan 100% serbuk genteng.

Nilai VFA campuran berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal 7% tidak mempunyai kecenderungan semakin besar atau semakin kecil (lihat Tabel 4.14). Nilai VFA terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 25% abu batu + 75% serbuk genteng (68,303%) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 50% abu batu + 50% serbuk genteng (73,758%). Nilai VFA (70,346% ; 71,547% dan 71,883% ) didapat dari campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu ; 75% abu batu + 25% serbuk genteng dan 100% serbuk genteng. Nilai VFA campuran berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal 7% memenuhi syarat ( $\geq 65\%$ ). Hal ini disebabkan kadar aspal optimum yang meningkat semakin besar seiring berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap. Sehingga pada campuran dengan *filler* 100% serbuk genteng mempunyai nilai VFA tertinggi karena kadar aspal yang digunakan terbesar (7,8%) dan pada campuran dengan *filler* 100% abu batu mempunyai nilai VFA terendah karena mempunyai kadar aspal optimum terendah (7%).

#### 4.2.5 Pengaruh Penggunaan *Filler* Serbuk Genteng terhadap Stabilitas

Nilai stabilitas menunjukkan besarnya kemampuan perkerasan menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja. Perkerasan yang mempunyai stabilitas tinggi akan mampu menahan beban lalu lintas yang besar. Beberapa hal yang mempengaruhi nilai stabilitas diantaranya adalah ketahanan gesekan antar agregat, bentuk permukaan agregat, kepadatan campuran dan kemampuan saling mengunci antar agregat. Grafik nilai stabilitas campuran HRS WC untuk berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Grafik nilai stabilitas campuran HRS WC untuk berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal optimum.



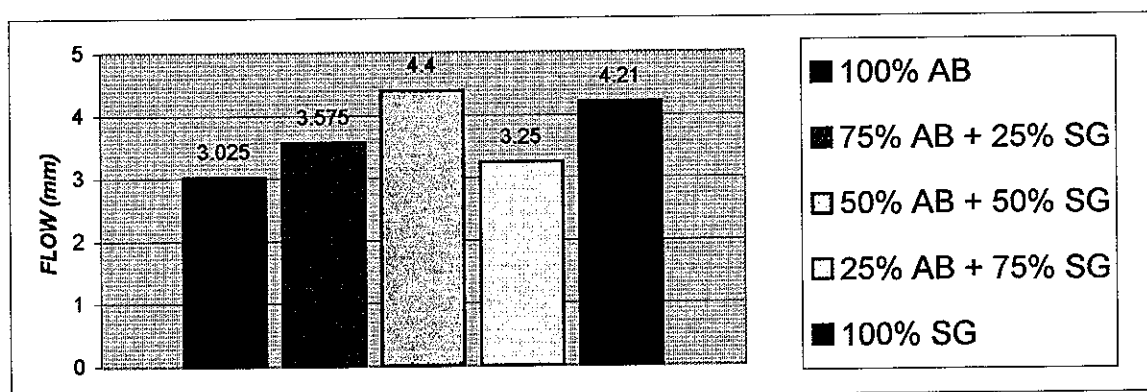
Dari Gambar 4.12 dapat diketahui bahwa semua campuran HRS WC untuk berbagai komposisi *filler* memenuhi syarat stabilitas ( $\geq 800$  kg). Nilai stabilitas terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% serbuk genteng (988,79 kg) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (1204,35 kg). Nilai stabilitas (1160,175 kg ; 1031,065 kg dan 1110,275 kg) didapat dari campuran yang menggunakan *filler* 75% abu batu + 25% serbuk genteng; 50% abu batu + 50% serbuk genteng dan 25% abu batu + 75% serbuk genteng.

Nilai stabilitas tertinggi (1216,495 kg) campuran dengan kadar aspal 7% diperoleh pada campuran yang menggunakan *filler* 75% abu batu + 25% serbuk genteng, sedangkan yang terendah (1133,860 kg) pada campuran yang menggunakan *filler* 25% Abu batu + 75% serbuk genteng (lihat Tabel 4.14). Nilai stabilitas (1204,350 kg ; 1165,290 kg dan 1184,185% ) didapat dari campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu ; 50% abu batu + 50% serbuk genteng dan 100% serbuk genteng. Nilai stabilitas campuran berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal 7% memenuhi syarat stabilitas ( $\geq 800$  kg).

Nilai stabilitas cenderung semakin rendah disebabkan berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap.

#### 4.2.6 Pengaruh Penggunaan *Filler* Serbuk Genteng terhadap *Flow*

Nilai *flow* menyatakan besarnya deformasi yang terjadi pada suatu lapis keras akibat beban lalu lintas. Suatu campuran dengan nilai *flow* tinggi akan cenderung lembek, sehingga mudah berubah bentuk jika menerima beban. Sebaliknya jika *flow* rendah maka campuran menjadi kaku dan mudah retak jika menerima beban yang melampaui daya dukungnya. Grafik nilai *flow* campuran HRS WC untuk berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 4.13.

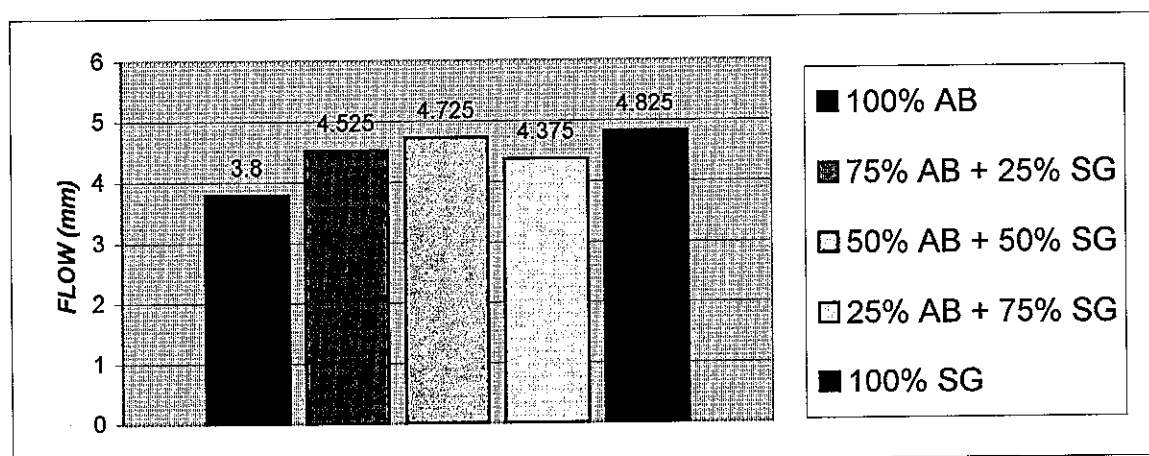


Gambar 4.13 Grafik nilai *flow* campuran HRS WC untuk berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal optimum.

Dari Gambar 4.13 dapat diketahui bahwa semua campuran HRS WC untuk berbagai komposisi *filler* memenuhi syarat minimal *flow* ( $\geq 2$  mm). Nilai *flow* mempunyai kecenderungan semakin besar seiring berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap. Nilai *flow* terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (3,025 mm) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 50% abu batu + 50% serbuk genteng (4,4 mm). Nilai *flow* pada campuran yang menggunakan *filler* 75% abu batu + 25% serbuk genteng (3,575 mm), 25% abu batu + 75% serbuk genteng (3,250 mm) dan 100% serbuk genteng (4,21 mm).

Nilai *flow* campuran pada kadar aspal 7% juga mempunyai kecenderungan semakin besar seiring berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap (lihat Tabel 4.14). Nilai *flow* terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 50% abu batu + 50% ( 2,300 mm) serbuk genteng dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 100% serbuk genteng (3,615 mm). Nilai *flow* pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (3,025 mm), 75% abu batu + 25% serbuk genteng (3,175 mm) dan 75% abu batu + 25% serbuk genteng (3,240 mm). Hal ini membuktikan bahwa kenaikan nilai *flow* disebabkan oleh berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap, juga disebabkan oleh bertambahnya kadar aspal.

Untuk campuran yang direndam dengan temperatur 60°C selama 24 jam nilai *flow* yang dihasilkan meningkat lebih besar jika dibandingkan dengan campuran yang direndam dengan temperatur 60°C selama 30 menit. Grafik nilai *flow* campuran HRS WC berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal optimum yang direndam dengan temperatur 60°C selama 24 jam dapat dilihat pada Gambar 4.14.

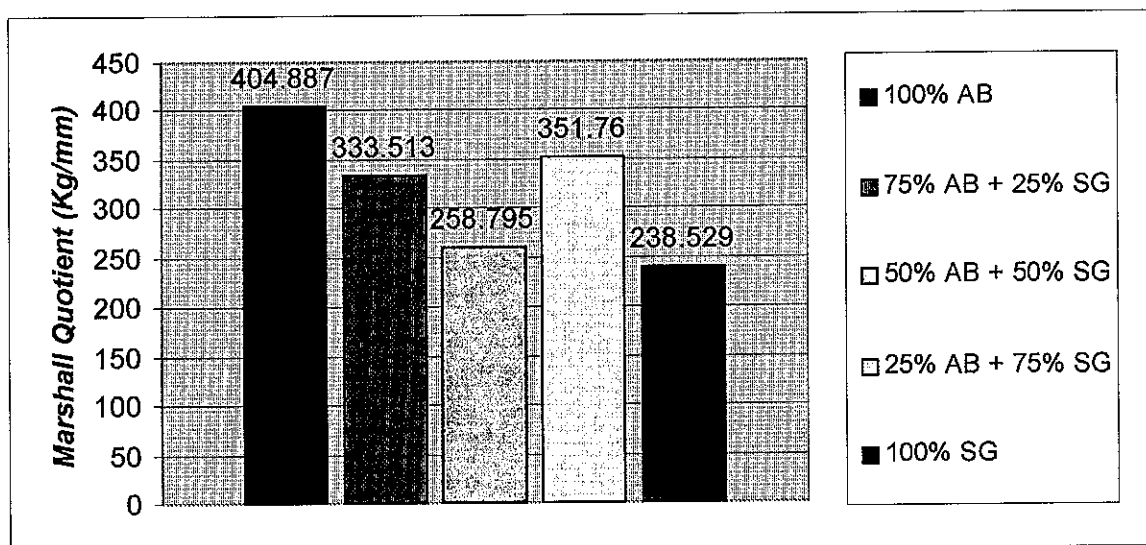


Gambar 4.14 Grafik nilai *flow* campuran HRS WC untuk berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal optimum yang direndam dengan temperatur 60°C selama 24 jam.

Kenaikan terbesar pada campuran yang menggunakan *filler* 25% abu batu + 75% serbuk genteng (34,6%), sedangkan kenaikan terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 50% abu batu + 50% serbuk genteng (7,4%). Pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu terjadi kenaikan (25,6%). Hal ini disebabkan oleh campuran yang mengalami perendaman dan pemanasan yang lama menjadi lebih lembek, ikatan antar batuan melemah, yang mengakibatkan deformasi menjadi lebih besar. Dari hasil pengujian rendaman dapat disimpulkan bahwa perendaman dan pemanasan berpengaruh pada nilai *flow*.

#### 4.2.7 Pengaruh Penggunaan *Filler* Serbuk Genteng terhadap *Marshall Quotient*

*Marshall Quotient* dihitung sebagai rasio dari stabilitas terhadap *flow* yang digunakan sebagai indikator kekakuan campuran. Grafik nilai *Marshall Quotient* campuran HRS WC untuk berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4.15 Grafik nilai *Marshall Quotient* campuran HRS WC untuk berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal optimum.

Dari Gambar 4.15 dapat diketahui bahwa semua campuran HRS WC untuk berbagai komposisi *filler* memenuhi syarat *Marshall Quotient* ( $\geq 200$  kg/mm). Nilai *Marshall Quotient* cenderung semakin rendah dengan berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap. Nilai *Marshall Quotient* terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% serbuk genteng (238,529 kg/mm) dan tertinggi

pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (404,887 kg/mm). Nilai *Marshall Quotient* pada campuran yang menggunakan *filler* 75% abu batu + 25% serbuk genteng (333,513 kg/mm), 50% abu batu + 50% serbuk genteng (258,795 kg/mm) dan 25% abu batu + 75% serbuk genteng (351,760 kg/mm).

Nilai *Marshall Quotient* campuran berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal 7% juga cenderung semakin rendah dengan berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap (lihat Tabel 4.14). Nilai *Marshall Quotient* terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% serbuk genteng (328,138 kg/mm) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 50% abu batu + 50% serbuk genteng (508,478 kg/mm). Nilai *Marshall Quotient* pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (404,887 kg/mm), 75% abu batu + 25% serbuk genteng (387,143 kg/mm) dan 25% abu batu + 75% serbuk genteng (350,611 kg/mm). Hal ini menunjukkan bahwa selain berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap, bertambahnya kadar aspal juga menurunkan nilai *Marshall Quotient*.

#### 4.2.8 Pengaruh Penggunaan *Filler* Serbuk Genteng terhadap *Density*

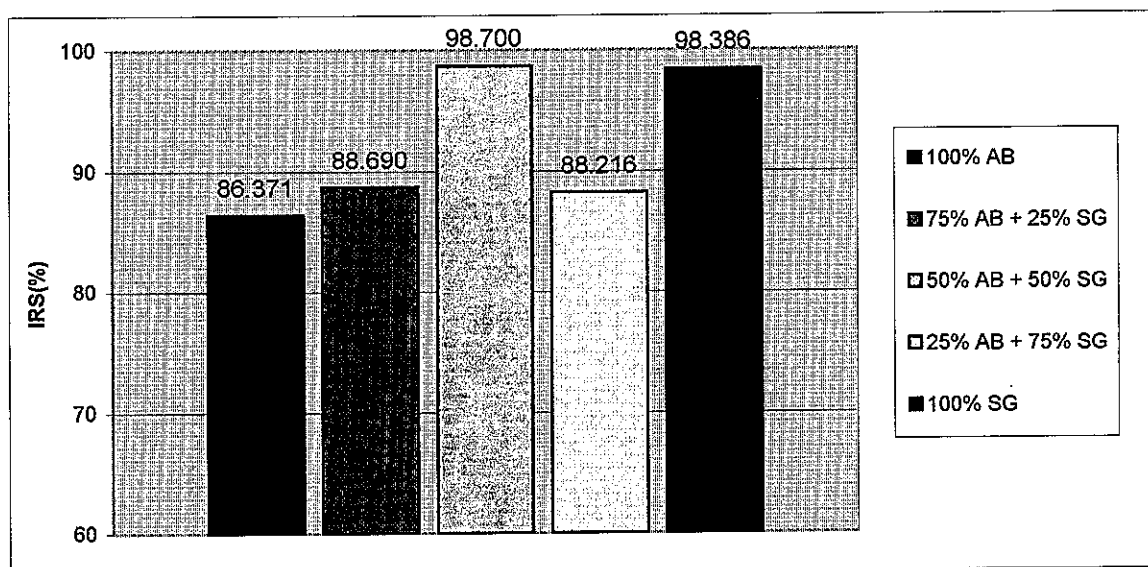
*Density* atau kepadatan adalah rasio antara berat benda uji kering dengan volume benda uji tersebut. Didalam perhitungan juga disebut  $G_{mb}$ . Nilai *density* cenderung semakin rendah dengan berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap. Nilai *density* terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% serbuk genteng (2,304 gr/cc) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (2,350 gr/cc). Nilai *density* pada campuran yang menggunakan *filler* 75% abu batu + 25% serbuk genteng (2,345 gr/cc), 50% abu batu + 50% serbuk genteng (2,319 gr/cc) dan 25% abu batu + 75% serbuk genteng (2,325 gr/cc).

Nilai *density* campuran berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal 7% juga cenderung semakin rendah dengan berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap (lihat Tabel 4.14). Nilai *density* terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% serbuk genteng (2,287 gr/cc) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (2,350 gr/cc). Nilai *density* pada campuran yang menggunakan *filler* 75% abu batu + 25% serbuk genteng (2,341 gr/cc), 50% abu batu + 50% serbuk genteng (2,348 gr/cc) dan 25% abu batu + 75% serbuk genteng (2,311 gr/cc). Hal ini menunjukkan bahwa selain berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap, bertambahnya kadar aspal juga menurunkan nilai *density*.

Tidak ada persyaratan yang mengatur tentang kepadatan atau *density* ini, baik untuk nilai minimum ataupun nilai maksimumnya. Jadi nilai-nilai kepadatan diatas bisa dianggap memenuhi persyaratan.

#### 4.2.9 Pengaruh Penggunaan *Filler* Serbuk Genteng terhadap IRS

Pengujian rendaman *Marshall* memberikan penilaian terhadap kemampuan dari campuran perkerasan aspal untuk menahan kerusakan yang diakibatkan oleh pengaruh air. Kerentanan terhadap pengaruh air ditentukan berdasarkan perendaman benda uji dalam *waterbath* selama 24 jam pada temperatur 60°C sebelum dilakukan pengujian stabilitas. Stabilitas yang tersisa sesudah perendaman diperlihatkan pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Grafik nilai IRS campuran HRS WC untuk berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal optimum.

Dari Gambar 4.16 dapat diketahui bahwa semua campuran HRS WC untuk berbagai komposisi *filler* memenuhi syarat IRS ( $\geq 85\%$ ). Nilai IRS terendah pada campuran 100% abu batu (86,371%) dan tertinggi pada campuran 50% abu batu + 50% serbuk genteng (98,7%). Nilai IRS pada campuran yang menggunakan *filler* 75% abu batu + 25% serbuk genteng (88,690%), 25% abu batu + 75% serbuk genteng (88,216 %) dan 100% serbuk genteng (98,386%).

Campuran berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal 7% juga memenuhi syarat nilai IRS (lihat Tabel 4.14). Nilai IRS terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (86,371%) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 25% abu

batu + 75% serbuk genteng (94,718%). Nilai IRS pada campuran yang menggunakan *filler* 75% abu batu + 25% serbuk genteng (88,563%), 50% abu batu + 50% serbuk genteng (87,259 %) dan 100% serbuk genteng (94,674%). Hal ini menunjukkan bahwa semua campuran HRS WC berbagai komposisi *filler* mampu menahan kerusakan yang diakibatkan oleh pengaruh air

#### 4.3 Pembahasan Umum

Dari analisa dan perbandingan dengan mempertimbangkan seluruh karakteristik yang meliputi VMA, VIM, VFA, stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient*, *density* dan IRS bahwa penggunaan *filler* serbuk genteng pada campuran dapat memenuhi syarat HRS WC untuk jalan dengan volume lalu lintas berat ( >1 juta ESA). Hasil ini sesuai dengan hipotesa yang diajukan, sehingga hipotesa dapat diterima.

Walaupun memenuhi syarat HRS WC , tetapi campuran yang menggunakan *filler* serbuk genteng menyebabkan nilai struktur yang lebih rendah dari pada campuran yang menggunakan *filler* abu batu. Ini ditandai dengan nilai stabilitas dan *density* yang semakin rendah dan nilai *flow* yang semakin tinggi pada campuran yang menggunakan *filler* serbuk genteng daripada campuran yang menggunakan *filler* abu batu.

Kadar aspal optimum bertambah seiring berkurangnya *filler* abu batu atau seiring bertambahnya *filler* serbuk genteng. Data ini memberikan indikasi bahwa komposisi *filler* mempengaruhi kadar aspal optimum. Kadar aspal optimum terendah (7%) adalah didapat dari campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu, sedangkan campuran yang menggunakan *filler* 100% serbuk genteng mempunyai kadar aspal optimum tertinggi (7,8%). Hasil ini serupa dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Yasruddin, bahwa kadar aspal optimum bertambah seiring berkurangnya *filler* debu batu atau seiring bertambahnya *filler* batu bata. Kadar aspal optimum terendah (7%) didapat dari campuran yang menggunakan *filler* 100% debu batu, sedangkan campuran yang menggunakan *filler* 100% batu bata mempunyai kadar aspal optimum tertinggi (7,5%). Hal ini menandakan bahwa penyerapan *filler* serbuk genteng dan *filler* batu bata lebih besar dari pada *filler* abu batu.

Nilai stabilitas terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% serbuk genteng (988,79 kg) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (1204,35 kg). Sedangkan nilai *flow* terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (3,025 mm) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 50%

abu batu + 50% serbuk genteng (4,4 mm). Jika dibandingkan dengan penelitian yang relevan yang telah dilakukan oleh Wenan, nilai stabilitas campuran yang menggunakan *filler* 100% serbuk genteng pada aspal optimum (988,79 kg) lebih tinggi dari pada campuran yang menggunakan *filler* sulfur (880 kg), tetapi lebih rendah daripada campuran yang menggunakan *filler* semen (1380 kg), abu terbang (1250 kg), kapur terhidrasi (1200 kg) dan debu tanah (1075 kg). Sedangkan jika dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Yasruddin, nilai stabilitas campuran yang menggunakan *filler* 100% serbuk genteng pada kadar aspal optimum (988,79 kg) lebih rendah dari pada campuran yang menggunakan *filler* 100% batu bata pada aspal optimum (10,59 KN  $\approx$  1080 kg).

Nilai *flow* campuran yang menggunakan *filler* 100% serbuk genteng (4,21 mm). Nilai *flow* campuran pada kadar aspal 7% juga mempunyai kecenderungan semakin besar seiring berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap. Nilai *flow* terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 50% abu batu + 50% (2,300 mm) serbuk genteng dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 100% serbuk genteng (3,615 mm). Hal ini membuktikan bahwa kenaikan nilai *flow* disebabkan oleh berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap, juga disebabkan oleh bertambahnya kadar aspal. Hasil ini mempunyai kesamaan dengan hasil penelitian Yasruddin, bahwa nilai *flow* mempunyai kecenderungan semakin besar seiring berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* batu bata secara bertahap. Nilai *flow* tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 100% serbuk genteng (3,615 mm) hampir sama dengan nilai *flow* tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 100% batu bata (3,6 mm).

Nilai *density* cenderung semakin rendah dengan berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap. Nilai *density* terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% serbuk genteng (2,304 gr/cc) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (2,350 gr/cc). Nilai *density* campuran berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal 7% juga cenderung semakin rendah dengan berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap. Nilai *density* terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% serbuk genteng (2,287 gr/cc) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (2,350 gr/cc). Hal ini menunjukkan bahwa selain berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap, bertambahnya kadar aspal juga menurunkan nilai *density*.

Campuran HRS WC dengan berbagai komposisi *filler* mampu menahan kerusakan yang diakibatkan oleh pengaruh kerentanan terhadap air (nilai IRS  $\geq 85\%$ ). Nilai IRS terendah pada campuran 100% abu batu (86,371%) dan tertinggi pada campuran 50% abu batu + 50% serbuk genteng (98,7%). Campuran berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal 7% juga memenuhi syarat IRS ( $\geq 85\%$ ). Nilai IRS terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (86,371%) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 25% abu batu + 75% serbuk genteng (94,718%).

Dari analisa tersebut campuran HRS WC yang menggunakan *filler* serbuk genteng sebaiknya digunakan untuk jalan dengan volume lalu lintas sedang ( $> 0,5$  juta ESA dan  $< 1$  juta ESA).



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada campuran HRS WC dengan berbagai komposisi *filler*, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut ini.

1. Semua campuran HRS WC dengan berbagai komposisi *filler* memenuhi syarat VMA, VIM, VFA, Stabilitas, *Flow*, *Marshall Quotient* dan *Index of Retained Strength* (IRS) yang ditentukan oleh Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas, Edisi Agustus 2001 (Terakhir) dari Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.
2. Nilai VMA, VFA dan *Flow* cenderung semakin tinggi seiring berkurangnya *filler* abu batu atau bertambahnya *filler* serbuk genteng.
  - a. Nilai VMA terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (18,226%) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 100% serbuk genteng (20,45%). Begitu juga nilai VMA campuran berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal 7%, nilai VMA semakin besar seiring berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap. Nilai VMA terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (18,226%) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 100% serbuk genteng (20,144%). Hal ini membuktikan bahwa peningkatan nilai VMA terjadi karena berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng, bukan karena bertambahnya kadar aspal. Aspal yang mengisi rongga dalam mineral agregat terserap oleh *filler* serbuk genteng, sehingga rongga dalam mineral agregat semakin besar.
  - b. Nilai VFA terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (70,436%) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 25% abu batu + 75% serbuk genteng (75,454%). Nilai VFA campuran berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal 7% tidak mempunyai kecenderungan semakin besar atau semakin kecil. Nilai VFA terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 25% abu batu + 75% serbuk genteng (68,303%) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 50% abu batu + 50% serbuk genteng (73,758%). Hal ini disebabkan kadar aspal optimum yang meningkat semakin besar seiring berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap. Sehingga pada campuran

dengan *filler* 100% serbuk genteng mempunyai nilai VFA tertinggi karena kadar aspal yang digunakan terbesar (7,8%) dan pada campuran dengan *filler* 100% abu batu mempunyai nilai VFA terendah karena mempunyai kadar aspal optimum terendah (7%).

- c. Nilai *flow* campuran pada kadar aspal 7% juga mempunyai kecenderungan semakin besar seiring berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap. Nilai *flow* terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 50% abu batu + 50% ( 2,300 mm) serbuk genteng dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 100% serbuk genteng (3,615 mm). Hal ini membuktikan bahwa kenaikan nilai *flow* disebabkan oleh berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap, juga disebabkan oleh bertambahnya kadar aspal. Nilai *flow* campuran yang direndam dengan temperatur 60°C selama 24 jam lebih besar daripada yang direndam dengan temperatur 60°C selama 30 menit. Kenaikan terbesar pada campuran yang menggunakan *filler* 25% abu batu + 75% serbuk genteng (34,6%), sedangkan kenaikan terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 50% abu batu + 50% serbuk genteng (7,4%). Pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu terjadi kenaikan (25,6%). Hal ini disebabkan karena campuran yang mengalami perendaman lebih lama menjadi lebih lembek, ikatan antar batuan melemah yang mengakibatkan deformasi menjadi lebih besar.
3. Nilai VIM, Stabilitas, *Marshall Quotient* dan *Density* cenderung semakin rendah dengan berkurangnya *filler* abu batu atau bertambahnya *filler* serbuk genteng.
    - a. Nilai VIM terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 75% abu batu + 25% serbuk genteng (4,827%) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 50% abu batu + 50% serbuk genteng (5,459%). Nilai VIM pada campuran berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal 7% cenderung semakin tinggi dengan berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng. Tetapi peningkatannya tidak signifikan. Nilai VIM terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (5,407%) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 25% abu batu + 75% serbuk genteng (6,237%). Hal ini membuktikan bahwa bertambahnya nilai VIM campuran pada kadar aspal 7% terjadi karena bertambahnya pula *filler* serbuk genteng. Sedangkan berkurangnya nilai VIM campuran pada kadar aspal optimum disebabkan oleh semakin

banyaknya kadar aspal yang digunakan, sehingga rongga dalam campuran semakin kecil.

- b. Nilai stabilitas terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% serbuk genteng (988,79 kg) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (1204,35 kg). Nilai stabilitas tertinggi (1216,495 kg) campuran dengan kadar aspal 7% diperoleh pada campuran yang menggunakan *filler* 75% abu batu + 25% serbuk genteng sedangkan yang terendah (1133,860 kg) pada campuran yang menggunakan *filler* 25% Abu batu + 75% serbuk genteng. Nilai Stabilitas campuran berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal 7% memenuhi syarat stabilitas ( $\geq 800$  kg). Nilai stabilitas cenderung semakin rendah disebabkan berkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap.
- c. Nilai *Marshall Quetient* terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% serbuk genteng (238,529 kg/mm) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (404,887 kg/mm). Nilai *Marshall Quotient* campuran berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal 7% juga cenderung semakin rendah dengan berberkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap. Nilai *Marshall Quetient* terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% serbuk genteng (328,138 kg/mm) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 50% abu batu + 50% serbuk genteng (508,478 kg/mm). Hal ini menunjukkan bahwa selain berberkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap, bertambahnya kadar aspal juga menurunkan nilai *Marshall Quotient*.
- d. Nilai *density* terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% serbuk genteng (2,304 gr/cc) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (2,350 gr/cc). Nilai *density* campuran berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal 7% juga cenderung semakin rendah dengan berberkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap. Nilai *density* terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% serbuk genteng (2,287 gr/cc) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (2,350 gr/cc). Nilai *density* pada campuran yang menggunakan *filler* 75% abu batu + 25% serbuk genteng (2,341 gr/cc), 50% abu batu + 50% serbuk genteng (2,348 gr/cc) dan 25% abu batu + 75% serbuk genteng (2,311 gr/cc). Hal ini menunjukkan bahwa selain

berberkurangnya *filler* abu batu dan bertambahnya *filler* serbuk genteng secara bertahap, bertambahnya kadar aspal juga menurunkan nilai *density*.

4. Campuran HRS WC dengan berbagai komposisi *filler* mampu menahan kerusakan yang diakibatkan oleh pengaruh kerentanan terhadap air (nilai IRS  $\geq 85\%$ ). Nilai IRS terendah pada campuran 100% abu batu (86,371%) dan tertinggi pada campuran 50% abu batu + 50% serbuk genteng (98,7%). Campuran berbagai komposisi *filler* pada kadar aspal 7% juga memenuhi syarat IRS ( $\geq 85\%$ ). Nilai IRS terendah pada campuran yang menggunakan *filler* 100% abu batu (86,371%) dan tertinggi pada campuran yang menggunakan *filler* 25% abu batu + 75% serbuk genteng (94,718%).
5. Penggunaan *filler* serbuk genteng baik sebagian maupun keseluruhan pada campuran HRS WC menyebabkan peningkatan kadar aspal optimum, bila dibandingkan dengan campuran HRS WC yang menggunakan *filler* abu batu saja. Hal ini menandakan penyerapan *filler* serbuk genteng lebih besar daripada *filler* abu batu. Peningkatan ini membuat campuran HRS WC yang menggunakan *filler* serbuk genteng tidak mempunyai nilai ekonomis.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil kesimpulan maka dapat diberikan beberapa saran sebagai berikut ini.

1. Campuran HRS WC yang menggunakan *filler* serbuk genteng baik sebagian maupun keseluruhan sebaiknya digunakan pada jalan dengan volume lalu lintas sedang ( $> 0,5$  juta ESA dan  $< 1$  juta ESA).
2. Dilakukan penelitian lanjutan dengan variasi persentase lolos *filler* serbuk genteng.
3. Dilakukan penelitian lanjutan untuk mengetahui parameter-parameter lain pada campuran, antara lain :
  - a. Uji Kepadatan Membal (*Refusal Density*), yaitu uji untuk mengetahui nilai rongga dalam campuran pada kepadatan membal (*refusal*).
  - b. Uji Permeabilitas, yaitu uji untuk mengetahui seberapa besar campuran dapat dilalui oleh zat cair melalui rongga – rongga didalam perkerasan.
  - c. Uji *Wheel Tracking*, yaitu uji simulasi kondisi beban dilapangan untuk mengetahui katahanan dari campuran untuk menahan deformasi permanen.
  - d. Uji Durabilitas, yaitu uji untuk mengetahui kemampuan campuran menahan keausan atau kerusakan akibat pengaruh air dan perubahan temperatur.

## DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO, (1990), *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, Part I Specification*, 15<sup>th</sup> Edition, AASHTO Publication, Washington.
- AASHTO, (1990), *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, Part II Specification*, 15<sup>th</sup> Edition, AASHTO Publication, Washington.
- Bagus Priyatno, (2001), *Perkembangan Teknologi Perkerasan Jalan*, Pusat Pengembangan Perguruan Tinggi Swasta Kopertis Wilayah VI Jawa tengah.
- British Standard Institution, (1989), *BS 3690 Part 12*, Hot Rolled Asphalt for Roads and Other Paved Areas, London.
- British Standard Institution, (1992), *BS 594 Part 1 & 2*, Hot Rolled Asphalt for Roads and Other Paved Areas, London.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, (2001), *Spesifikasi Baru Beton Aspal Campuran Panas*, Edisi Agustus (Terakhir), Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Transportasi, Bandung.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, (1999), *Pedoman Perencanaan Campuran Beraspal Panas Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Transportasi, Bandung.
- Krebs, R.D and Walker, R.D, (1971), *Highway Materials*, McGraw-Hill, New York.
- M. Sjahdanulirwan, (1996), *Analisa Spesifikasi dan Penyusunan Spesifikasi Baru Untuk Campuran Aspal Panas*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan, Bandung.
- Mulyono, (1996), *Pengaruh Variansi Jenis Dan Kadar Filler Terhadap Stabilitas, Fleksibilitas Dan Tingkat Durabilitas HRS (Hot Rolled Sheet) Kelas B*, Media Teknik No. 3 Tahun XVIII, Edisi November, Yogyakarta.
- Rantetoding, P, (1984), *"Mix Design Untuk Indonesia"*, Prosiding I, Konferensi Tahunan Teknik Jalan Ke-2, Bandung.
- Shell Bitumen, (1990), *Shell Bitumen Handbook*, Published By Shell Bitumen, U.K.
- Wehan, A.H., (1994), *"Pengaruh Berbagai Jenis Filler Pada Campuran HRA"*, Tesis Magister, STJR ITB, Bandung.

**UPT-PUSTAK-UNDIP**

Yasruddin, (2000), "*Kinerja Laboratorium Pada Hot Rolled Asphalt Dengan Kandungan Batu Bata Yang Dihaluskan Sebagai Filler*", Tesis Magister STJR ITB, Bandung.

Yoder, E.J. and Witczak, M.W., (1975), *Principles of Pavement Design*, 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley & Son, New York.